

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILY**



**TECHNOLOGIE NÝTOVÁNÍ**  
**THE TECHNOLOGY OF RIVETING**

**Bakalářská práce**

Bachelor's thesis

**Autor práce:**

Martin Herudek

Author

**Vedoucí práce:**

Ing. Pavel Klaus, Ph.D.

Supervisor

**Ostrava 2018**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Martin Herudek**

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

**Technologie nýtování**  
**The technology of riveting.**

Jazyk vypracování:

**čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod .
2. Progresivní technologie nýtování používané u bateriových boxů.
3. Testování technologie pro nýtování lepených bateriových boxů.
4. Vyhodnocení zkoušek technologie nýtovaných lepených bateriových boxů.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Nýtování v letectví a v podobné výrobě, Nýtování v letectví a v podobné výrobě, Daněk, Otakar, 1921-Gorbatov, Nikolaj Markovič, 1. vyd. — Praha : Práce, 1951 (Práce 1, n.p.) — 311 s. 429, Technické příručky Práce ; sv. 65
- [2] Vědecké database přístupné z knihovny VŠB – TU Ostrava – Elsevier, Web of Science, SpringerLink, Wiley a další.
- [3] VIGNER, Miloslav. Technologie výroby motorových vozidel. Praha: České vysoké učení technické, 1981.
- [4] CAMPBELL, Flake C. Manufacturing technology for aerospace structural materials. Oxford: Elsevier, 2006. ISBN 1-85617-495-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Klaus, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



---

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 6. Obsah BP                  |
| 2. Originál zadání BP                        | 7. Textová část BP           |
| 3. Zásady pro vypracování BP                 | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 9. Přílohy                   |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |                              |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právníkové nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra . . . . .*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- было́ сже́днано, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- было́ сже́днано, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě ..... ..

podpis (jméno a příjmení studenta)

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Klausovi, Ph.D. za vedení a věcné připomínky při zpracování mé bakalářské práce, poděkování patří i paní Ing. Váňové, Ph.D. za pomoc při zpracování výsledků experimentální části.



## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá metodikou hybridního spojení hliníkových plechů metodou nýtování a lepení s využitím pro bateriové boxy elektrických vozidel. V úvodu práce jsou shrnuty moderní technologie výroby bateriových boxů pro elektromobily. Teoretická část práce je zaměřena na technologie spojení pomocí nýtů a technologie lepení. Je zde provedeno několik experimentálních měření pevnosti ve smyku pro dané typy hybridních spojení. V praktické části práce je detailně popsána příprava vzorků a provedena série experimentálních testů pevnosti ve smyku. Dále jsou zde vyhodnoceny naměřené hodnoty pro tento typ „hybridního“ spojení.

## **Klíčová slova**

Nýtování, self piercing nýtování, test pevnosti ve smyku, hybridní spojení, lepení

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with the methodology of aluminium sheet hybrid connection by riveting and bonding with possible uses in battery boxes of electric vehicles. At the beginning of the thesis modern manufacturing technologies of joints applied for battery boxes in electric vehicles are summarized. The theoretical part is focused on technologies of rivet joints and the technology of adhesives. Several experimental measurements in shear strength for that type of hybrid joint were performed here. In the practical part of the thesis there is a detailed description for preparation of samples and the performance of a series of experimental tests. Towards the end of the thesis the measured values for this type of „hybrid“ joint are evaluated.

## **Key words**

Riveting, self-piercing riveting, shear strength test, hybrid joint, gluing

# Obsah

Úvod .....	12
1. Progresivní technologie nýtování u lepených bateriových boxů .....	13
1.1 Současný stav výrobních technologií pro bateriové boxy v elektromobilech .....	14
1.2 Princip nýtování.....	16
1.3 Materiály nýtů .....	16
1.3.1 Nýty zhotovené z oceli .....	17
1.3.2 Nýty z hliníku.....	17
1.3.3 Nýty z barevných kovů .....	18
1.3.4 Nýty z umělých hmot .....	18
1.4 Nýty s vysokou pevností ve smyku .....	19
1.4.1 Nýt s vyvrtaným koncem dřívku.....	19
1.4.2 Nýty typu Lockbolt .....	19
1.5 Self-piercing nýtování .....	20
1.5.1 Proces spojení.....	21
1.5.2 Parametry ovlivňující proces spojení self-piercing nýty.....	22
1.5.3 Nastavení síly .....	25
1.5.4 C-rám.....	26
1.5.5 Materiály vhodné pro spojování self-piercing nýty .....	27
1.6 Klinčování .....	28
1.7 Lepené nýtované spoje (hybridní spojení).....	29
1.7.1 Požadované vlastnosti lepidla .....	29
1.7.2 Výroba spoje .....	29
2. Příprava vzorků pro zkoušky napětí ve smyku s možností aplikace pro bateriový box .	30

2.1	Matice zkoušení vzorků určených pro zkoušky napětí ve smyku .....	31
2.2	Hliníková slitina EN AW 5083 .....	32
2.3	Slitina EN AW 2017A T4 .....	33
2.4	Lepení hliníkových slitin .....	34
2.4.1	Hodnoty vykazující lepené vzorky při použití stejného typu úpravy povrchu .....	35
2.5	Příprava lepeného povrchu na vzorcích pro snýtování trhacími nýty .....	36
2.6	Nýtování lepených vzorků.....	39
3	Vyhodnocení zkoušek technologie nýtovaných lepených bateriových boxů .....	41
3.1	Výsledky pevností ve smyku lepených nýtovaných spojů .....	41
3.1.1	Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtované Al trhacím nýtem .....	42
3.1.2	Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtované trhacím nýtem z nerezové oceli ..	43
3.1.3	Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtované ocelovým trhacím nýtem .....	44
3.1.4	Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtované vícesměrným Al trhacím nýtem...	45
3.2	Výsledky pevnosti ve smyku u nelepených vzorků.....	46
3.3	Porovnání pevnosti ve smyku - vzorky nelepené a s aplikací lepidla .....	48
3.4	Vyhodnocení lepeného povrchu .....	51
4	Závěr .....	52
	Seznam použité literatury .....	53
	Seznam Obrázků.....	55
	Seznam tabulek.....	57

## Úvod

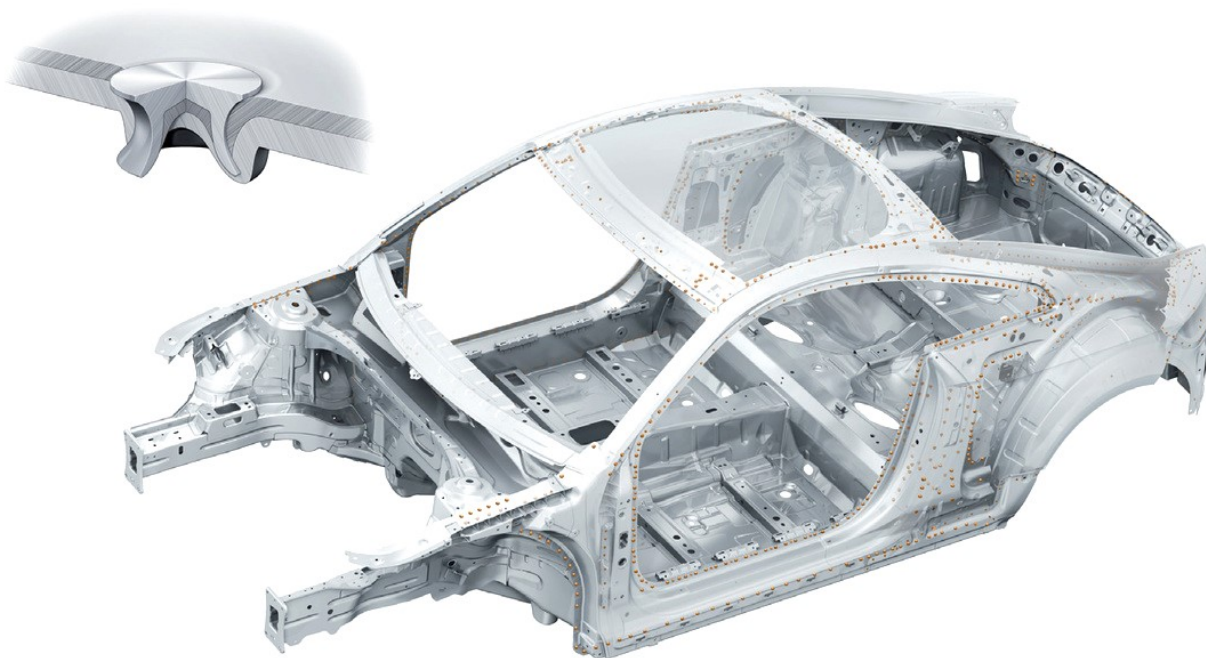
Nýtování je aplikace, při které dochází k nerozebíratelnému spojení dvou materiálů. Jedná se o osvědčenou metodu spojování materiálu, hojně využívanou ve strojírenství a stavebnictví. V dnešní době se můžeme setkat s aplikací nýtových spojení především v leteckém průmyslu, kde se pomocí nýtů dosahuje spojení trupu a křídel letadel. V moderní době se nýtových spojení využívá při stavbě automobilů, především při stavbě karoserie. Nový význam dostává nýtování lepených bateriových boxů pro elektromobily či hybridní vozy. Tento typ spojení má jak výhody, tak nevýhody. Mezi jednoznačná pozitiva patří bezproblémové spojení dvou různých materiálů a eliminace tepelně ovlivněné oblasti jako je to v případě svařování. Nevýhodu představuje především nerozebíratelnost spojení.

Mezi moderní metody patří kombinace hybridních spojení pomocí lepidla a nýtů. Tato kombinace spojuje výhody obou metod spojení. Alternativou pro nýtování může být také spojení vytvořené klinčováním.

Tato práce vychází z potřeby zjištění potřebných pevnostních vlastností nýtovaného bateriového boxu podpořeného lepením, který se bude realizovat na katedře materiálů a technologií pro automobily na fakultě metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava.

## 1. Progresivní technologie nýtování u lepených bateriových boxů

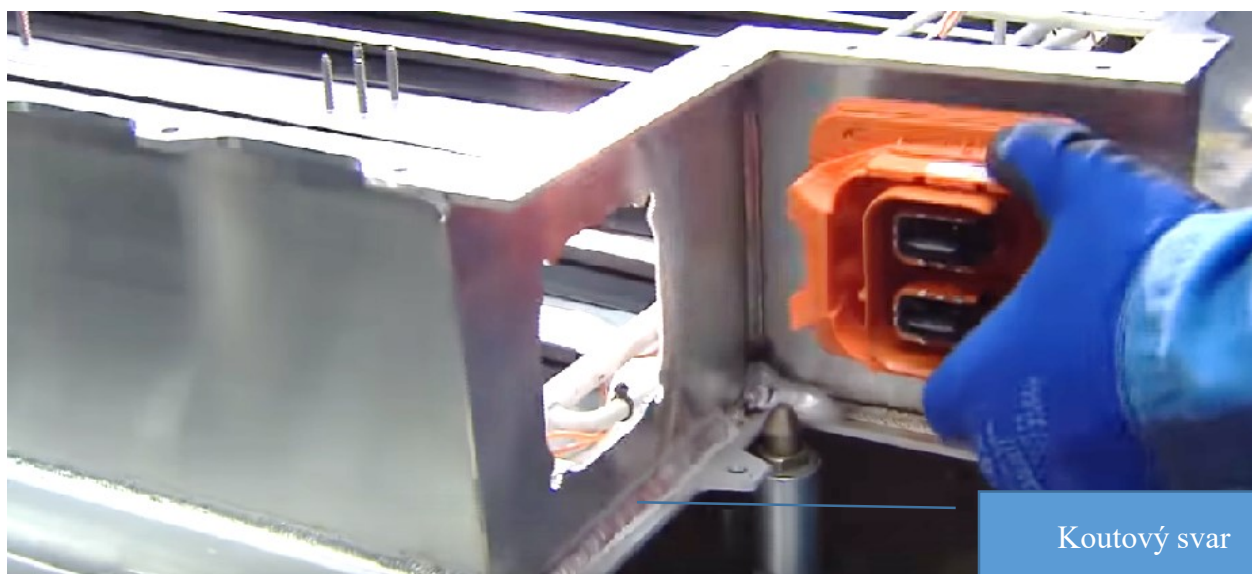
Nýtování v automobilovém průmyslu souvisí s technologiemi používanými v leteckém průmyslu. V automobilovém průmyslu představují bateriové boxy v elektromobilech velký přídavek hmotnosti, a to až 25% celkové váhy automobilu, jako je to v případě modelu Tesla Model S. V současné době je snaha o co nejvýše možnou celkovou redukci hmotnosti automobilu, a zároveň zachování či zvýšení pevnostních vlastností spojů. V moderní době je velmi významným typem nýtování self-piercing (viz. **Obr. 1**), které je hojně využívané v automobilovém průmyslu při spojování dílů karoserie. [1]



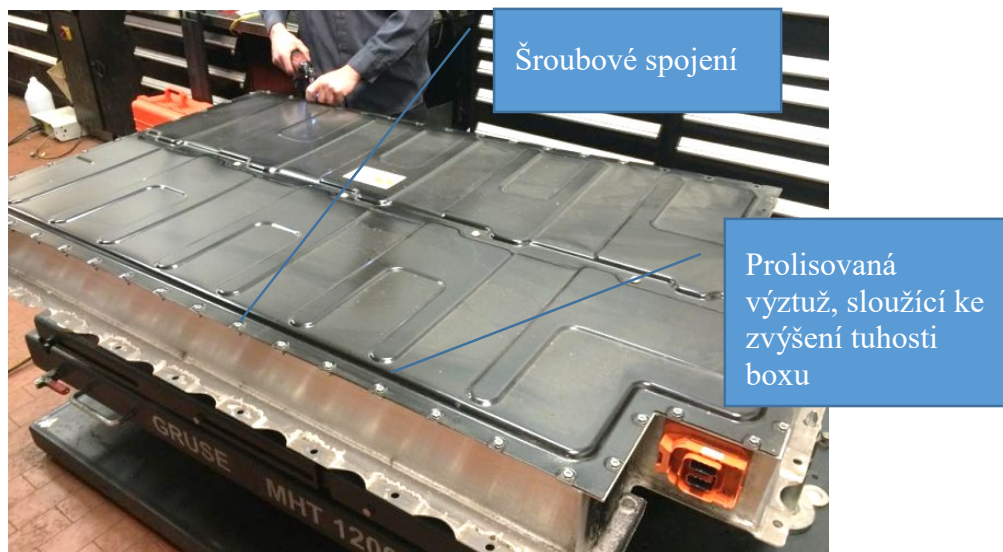
**Obr. 1** Karoserie vozu Audi TT (modelové označení 8J3, rok výroby 08/06 – 06/14) spojená pomocí self-piercing nýtů. [2]

## 1.1 Současný stav výrobních technologií pro bateriové boxy v elektromobilech

Uložení jednotlivých bateriových článků probíhá do předem vyrobených bateriových boxů. Ve většině jsou vyráběny svařováním (viz. **Obr. 2**) a horní kryt baterií bývá spojen šrouby (viz. **Obr. 3**). Tyto bateriové boxy jsou vytvořeny z profilovaných hliníkových plechů. [3]

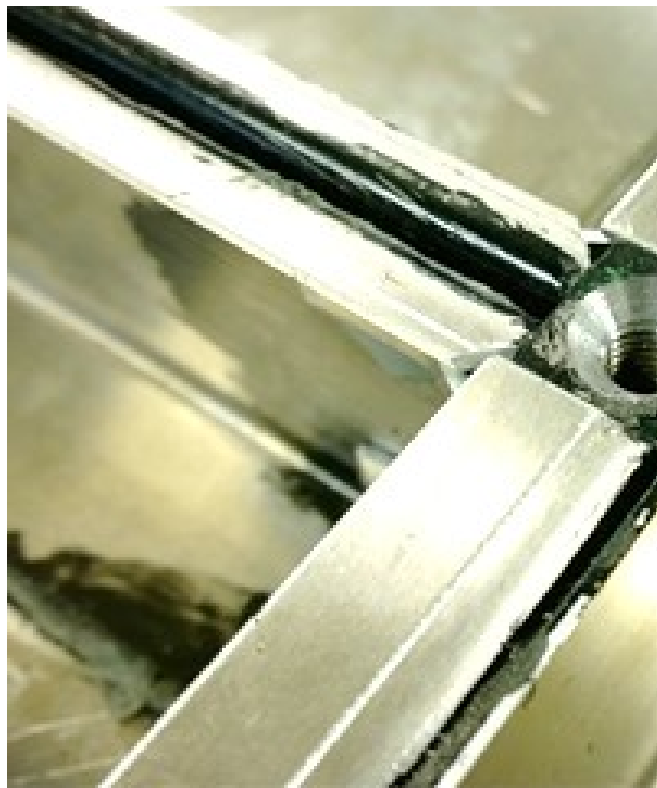


**Obr. 2** Místo pro uložení bateriových článků vozu BMW i3. [3]



**Obr. 3** Zkompletovaný bateriový box pro BMW i3. [4]

Dalším typem bateriových boxů z hlediska spojů je box lepený (viz. **Obr. 4**). Lepený bateriový box byl použit v prototypu SCX vyvinutém na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě na katedře materiálů a technologií pro automobily. Mezi použitý materiál patřila slitina hliníku EN AW 5083, spoje byly vytvořeny lepidlem 3M DP460 NS. K výhodám tohoto typu boxu patřila velmi nízká hmotnost spoje. Nevýhodou byla pevnost, která nedosahovala vysokých hodnot.

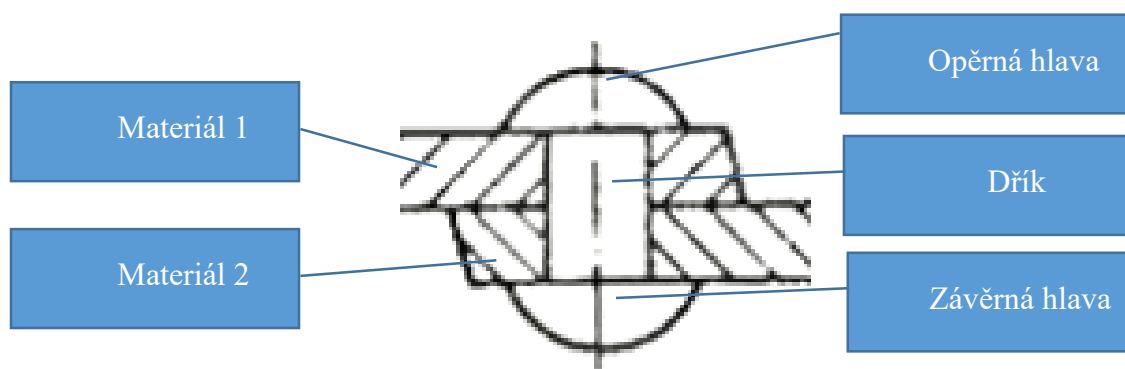


**Obr. 4** Detail lepené příčky bateriového boxu u prototypu SCX.

Jako vhodná metoda spojení bateriových boxů se jeví spojení hybridní. Jedná se o spojení self-piercing nýtu a lepidla, kdy dochází ke kombinaci výhod obou druhů spojení. Díky absenci svařovaných spojů dochází k eliminaci tepelně ovlivněné oblasti a zajištění stejné mikrostruktury hliníkových slitin po celé délce spoje.

## 1.2 Princip nýtování

Nýtování je nerozebíratelné spojení, při němž dochází ke spojení dvou a více materiálů, převážně plechů. Nýt se skládá ze tří částí: opěrné hlavy, dříku a závěrné hlavy (viz. **Obr. 5**). Závěrná hlava vznikne tvářením konce dříku. [5]



**Obr. 5** Nýtové spojení dvou materiálů. [5]

## 1.3 Materiály nýtů

Nýtový materiál se volí podle několika hledisek. Hlavní je dodržení podmínky dobrého tváření tohoto materiálu. Tato skutečnost nám zařídí předpoklad nenáročného zhotovení spoju, které má vliv na cenu zhotovení a kvalitu spoje. Jestliže je nýt z příliš tvrdého materiálu, musíme vyvinout vysokou energii pro jeho vytvoření. Přitom však mohou vzniknout trhliny.

Po dodržení podmínky jednoduché tvářitelnosti se zaměříme na hodnotu smykové soudržnosti, která musí být vysoká. Opakem je hustota materiálu – tu naopak požadujeme co nejnižší, když vezmeme v potaz, že na letadlo je použito několik stovek tisíc nýtů. [5]



### **1.3.1 Nýty zhotovené z oceli**

Nýty z oceli (viz. **Obr. 6**) jsou hojně využívané v letectví. Jsou významným spojením ocelových součástí konstrukčních prvků. Průměr ocelových nýtů je do 10 mm. Oceli musí projít povrchovou úpravou kadmiování, pokud dochází ke kontaktu s lehkými slitinami, aby se zamezil vznik koroze. [5]



**Obr. 6 Ocelový nýt. [6]**

### **1.3.2 Nýty z hliníku**

Čistý hliník jako materiál pro nýty není vhodnou volbou, a to z důvodu malé hodnoty jeho smykové soudržnosti. Nýtů z hliníku se používá na nenáročná spojení. Výhod hliníku se dá využít pro další aplikace nýtování. Největší výhodou je jeho nízká hustota, která činí  $2,7 \text{ kg.m}^{-3}$ . [5]

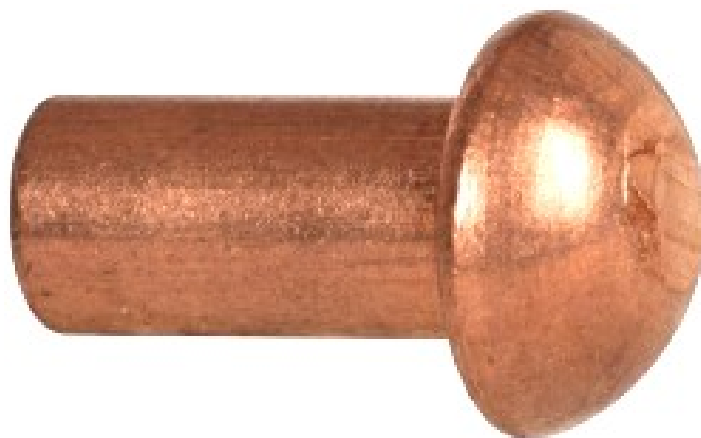
Slitiny hliníku nachází uplatnění pro náročnější spojení než nýty ze surového hliníku. Jedná se z velké části o duraly (slitina hliníku, mědi a hořčíku) a hydronalia (slitiny hliníku a hořčíku). [5]

Nýty z duralu jsou z drtivé části aplikovány v leteckém průmyslu. Vynikají větší pevností ve smyku.[5]. Za nevýhodu se může považovat špatná korozivzdornost- Ta se eliminuje povrchovými úpravami, zejména plátováním hliníkem. [5]

Nýty z hydronalia mají široké spektrum využití. Tyto nýty mají výhodu oproti duralovým nýtům v lepší korozivzdornosti. Měrná hmotnost hydronalia je nižší než u duralu ( $\rho=2,6\text{g/cm}^3$ ) [5], jeho smyková soudržnost je ale menší. [5]

### **1.3.3 Nýty z barevných kovů**

Nýtů z barevných kovů se používá pro méně náročné aplikace, jako jsou spojení kožených pásků, či spojení materiálů z umělé hmoty. Jejich předností je velmi dobrá tváritelnost a korozivzdornost. Jedná se především o nýty z mosazi a mědi (viz. **Obr. 7**). [5]



**Obr. 7 Nýt z mědi. [7]**

### **1.3.4 Nýty z umělých hmot**

Nýty z umělých hmot (viz. **Obr. 8**) jsou termoplasty. Užívají se pro nenáročná spojení. Vynikají malou hmotností a netrpí korozí. Nemohou být vystaveny zvýšeným teplotám, jinak u nich dochází k degradaci materiálu. [5]



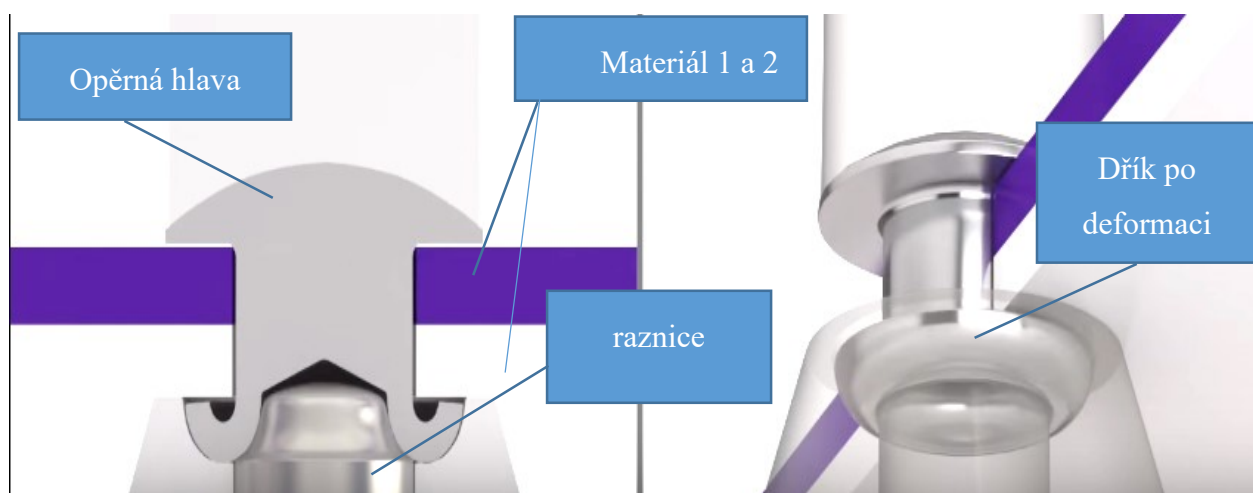
**Obr. 8 Trhací nýt z nylonu.[8]**

## 1.4 Nýty s vysokou pevností ve smyku

S rostoucími požadavky na pevnost a kvalitu spoje vznikla celá řada rozdílných typů nýtů. O tuto skutečnost se zasloužil zejména letecký průmysl, který vyžaduje nejvyšší bezpečnostní a pevnostní nároky. [5]

### 1.4.1 Nýt s vyvrtaným koncem dříku

Nýt s vyvrtaným koncem dříku se vyznačuje vysokou smykovou soudržností. Tento typ nýtu byl vyvinut pro snížení vyvinuté energie k vytvoření závěrné hlavy z dříků o průměrech větších než 8 mm. Jedná se o lepší řešení, než je aplikace tváření klasických nýtů za tepla, protože není snížena pevnost důsledkem tepla. Ke vzniku závěrné hlavy dojde pomocí raznice (viz. **Obr. 9**). [5]



Obr. 9 Nýt s vyvrtaným koncem dříku. [9]

### 1.4.2 Nýty typu Lockbolt

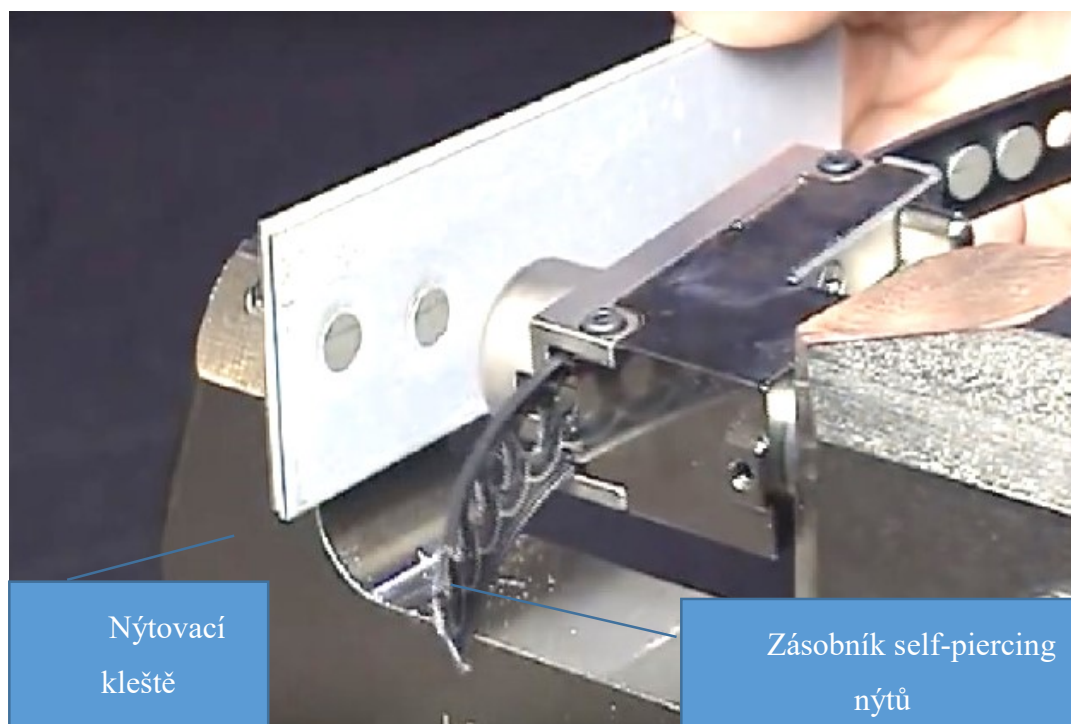
Nýt typu Lockbolt je podtyp kloboučkového nýtu, jehož opěrná hlava a dřík jsou z oceli a klobouček z duralu. Dřík tohoto nýtu je válcový a poté drážkovaný. Drážkovaná část je určena k vytvoření závěrné hlavy vlisováním pomocí kloboučku z duralu (viz **Obr. 10**). Pro tento typ je výhodou nutnost použití nástroje jen z jedné strany spoje. [5]



Obr. 10 Nýt Lockbolt. [10]

## 1.5 Self-piercing nýtování

Self-piercing nýtování si našlo rozsáhlé uplatnění v automobilovém průmyslu především při spojování hliníkových slitin a vysoce pevných ocelí. Používá je celá řada automobilek, mezi které patří například Ford, Audi, Jaguar, BMW, Tesla a další. První zmínky implementace do výroby se datují k šedesátým letům 20. století. K jejich rozsáhlejší implementaci do automobilového průmyslu došlo začátkem 90. let. Důvodem byly větší nároky na snižování hmotnosti automobilů kvůli zavedení emisních norem pro snižování spotřeby a skleníkových plynů. S touto povinností začalo docházet k nahrazování konvenčních ocelí slitinami z hliníku. Spojování slitin z hliníku nebo sobě navzájem odlišných materiálů ovšem přinesl problém pro odporové bodové svařování, kvůli nutnosti použití vyššího proudu při svařování. A proto svařování bylo postupně nahrazeno self-piercing nýtováním (viz. **Obr. 11**). Jako první značka, která ve velké míře začala využívat tohoto spojení, byla Audi na své vlajkové lodi A8 v roce 1993, a poté u Audi A2. [12]



**Obr. 11** Spojení pomocí self-piercing nýtů. [11]

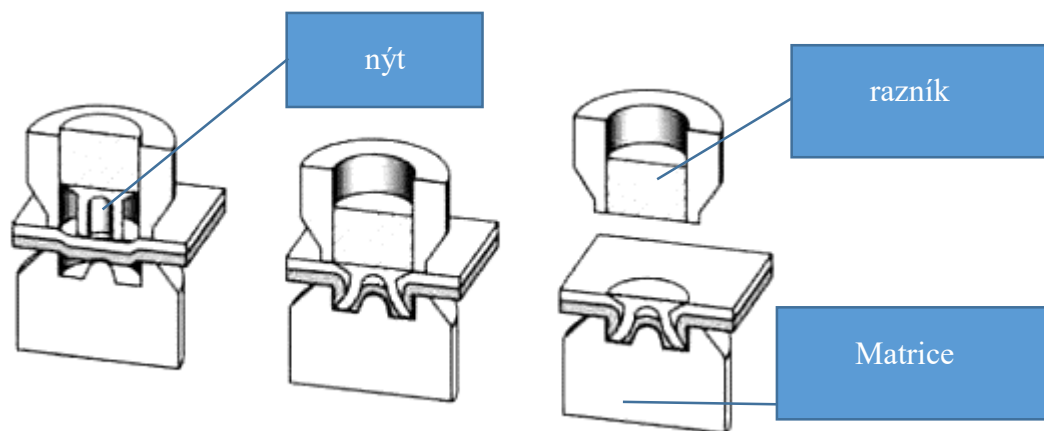
### 1.5.1 Proces spojení

Technologický proces spojení je rychlý, levný a jednoduchý. Není potřeba otvoru pro nýt. Spojení bývá v mnoha případech podpořeno lepidly. Díky lepidlům dojde k podpoření pevnosti spoje, snížení hluku a vibrací. [12]

Zařízení pro spojování self-piercing nýty bývá tvořeno řídicí a pohonnou jednotkou, kleštěmi, matricí, razníkem a zásobníkem nýtů. [12]

Proces spojení bývá rozdělen do čtyř jednotlivých etap. Nejdříve dojde k upnutí mezi nýtem a spojovaným materiálem. Slabé upnutí usnadní tok spodního spojovaného plechu a sníží riziko prasklin okolo spoje. Vyšší upínací síla zase dostatečně stlačí lepidlo na rozhraní spoje. [12]

Po vhodném upnutí následuje prořezání. Razník je stlačen s nýtem dolů k spojovanému materiálu a proniká skrze něj (viz. **Obr. 12**). V počáteční fázi dochází pouze k průchodu skrze materiál beze změny tvaru nýtu. Tato etapa je závislá na použití vhodných materiálů (zpravidla měkčích než nýt), aby nedošlo k rozšiřování konce nýtu příliš brzo jako by to mohlo nastat při využití příliš tvrdých materiálů, například ocelí s vysokou pevností. [12]



Obr. 12 Vznik spoje self-piercing nýtováním.0

Jako třetí etapa při vzniku spoje následuje roztažení. Nýt je dále protlačován přes plech a dochází k mírnému roztažení jeho konce. Díky této mírné deformaci nýtu dojde k mechanickému zámku spoje. Při druhé a třetí etapě může dojít ke vzniku mezer mezi spojovanými materiály kvůli jejich rozdílnému chování při deformaci. K jejich eliminaci dojde vyvinutím dostatečné síly na hlavu nýtu. [12]

Uvolnění je poslední etapou. Razník se vrátí do počáteční pozice a spojený materiál je vyjmut. [12]

### **1.5.2 Parametry ovlivňující proces spojení self-piercing nýty**

Mezi hlavní činitele ovlivňující proces spojení self-piercing nýty patří volba nýtu, matrice, nastavení síly a C-rámeček. Tyto parametry ovlivňují kvalitu a pevnost spoje. Je důležité volit optimální kombinaci těchto faktorů pro každou aplikaci. [12]

#### ***Self-piercing nýty***

Od počátku vzniku této technologie si self-piercing nýty prošly výraznou proměnou. V 70. letech 20. století byl používán nýt, který se při prořezávání skrz materiál rozdělil na tři nožky. V 80. letech došlo ke změně v podobě polodutého nýtu s odolností proti vodě. V 90. letech došlo ke snížení tloušťky nýtu, vyvinula se geometrie hlavy nýtu pro rovnoměrné roznýtování a konzistentní pevnost spoje. Byl vytvořen také plně dutý nýt (viz. **Obr. 13**) umožňující spojení tlustých spojů, díky němuž se zlepšila spodní strana spoje. Díky menšímu vyboulení spodní strany spoje došlo ke zmenšení pravděpodobnosti vzniku trhlin, které se vyskytovaly u méně tvárných materiálů. Užitím dutého nýtu došlo také ke zlepšení kvality tlustějších a vícevrstvých spojů. [12]



**Obr. 13 Self-piercing nýty. [14]**

Self-piercing nýty se běžně vyrábějí z ocelí s vysokou pevností (například z bórových ocelí) a v závislosti na aplikaci jsou tepelně zpracovány pro různé pevnostní požadavky. Mohou být vyrobeny také z hliníkových slitin, mědi, mosazi nebo nerezové oceli, ale při použití těchto materiálů jsou jejich aplikace omezeny z důvodu nemožnosti tepelného zpracování. Pro zvýšení recyklovatelnosti a odolnosti proti korozi byly vyvinuty hliníkové nýty pro spojování částí z hliníkových slitin. [12]

Ocelové nýty jsou většinou potažené pro lepší odolnost vůči korozi. Potahování je požadováno pro snížení tření mezi nýtem a spojovaným materiálem. Nejčastěji bývá nýt mechanicky pokovován zinkem s titanem nebo zinkem, titanem a hliníkem nebo zinek s niklem či barvou. Barvy mohou být aplikovány jako překrytí horní vrstvy nebo jako dvouvrstvý systém. [12]

Ocelové nýty mohou být vyrobeny v různých stavech tvrdosti. Nejměkčí jsou dodávány v kovaném stavu nebo mohou být tepelně zpracovány na různé hodnoty tvrdosti. Tvrdost nýtu se musí vhodně zvolit podle tvrdosti materiálu. Nedostatečně tvrdý nýt by byl zdeformován materiálem a příliš tvrdý nýt nevytvoří dobrý zámek s materiálem. [12]

### ***Matrice***

Materiál matrice je většinou vyroben z nástrojové oceli. Matrice mohou mít různé rozměry hloubky dutiny a různý tvar geometrie (viz **Obr. 14**). Konec matrice je zploštělý nebo se špičkou uprostřed, stěna matrice bývá vertikální a nakloněná. Tvar matrice ovlivní potřebnou nutnou sílu a rozšíření konce nýtu. Správný tvar matrice je zásadním faktorem ovlivňující kvalitu nýtového spoje.[12]



**Obr. 14 Matrice pro self-piercing nýtování. [15]**

Matrice musí být větší než průměr dříku, aby na konci nýtu došlo k jeho rozšíření a ke vzniku mechanického zámku. Naopak délka matrice by měla být menší než délka nýtu. Kdyby byla příliš dlouhá, nedocházelo by k potřebnému tlaku na spodní stranu spojovaného materiálu. [12]

Při použití méně tvárného materiálu spodní strany plátu může docházet ke vzniku trhlin a k nadměrné plastické deformaci. V takovém případě je lepší použití mělké dutiny matrice se špičkou uprostřed.[12]



### **1.5.3 Nastavení síly**

Při procesu self-piercing nýtování sehrává důležitou roli síla potřebná ke vzniku spoje, lišící se podle aplikace od 20 kN do 100 kN. Tato síla je nutná k proniknutí nýtu skrze spojovaný materiál tak, aby byl vytvořen dobrý spoj vykazující dobrou smykovou pevnost, délku rozšíření konce dřívku a minimální zbývající tloušťku materiálu. Síla proto nemůže být ani vysoká, ani nízká. [12]

Jestliže je síla příliš nízká, spoj nebude dostatečně pevný. Hlava nýtu může přechýlávat. Může snadno dojít ke korozi, jelikož kvůli velké vzdálenosti mezi nýtem a materiálem se do spoje může dostat voda. [12]

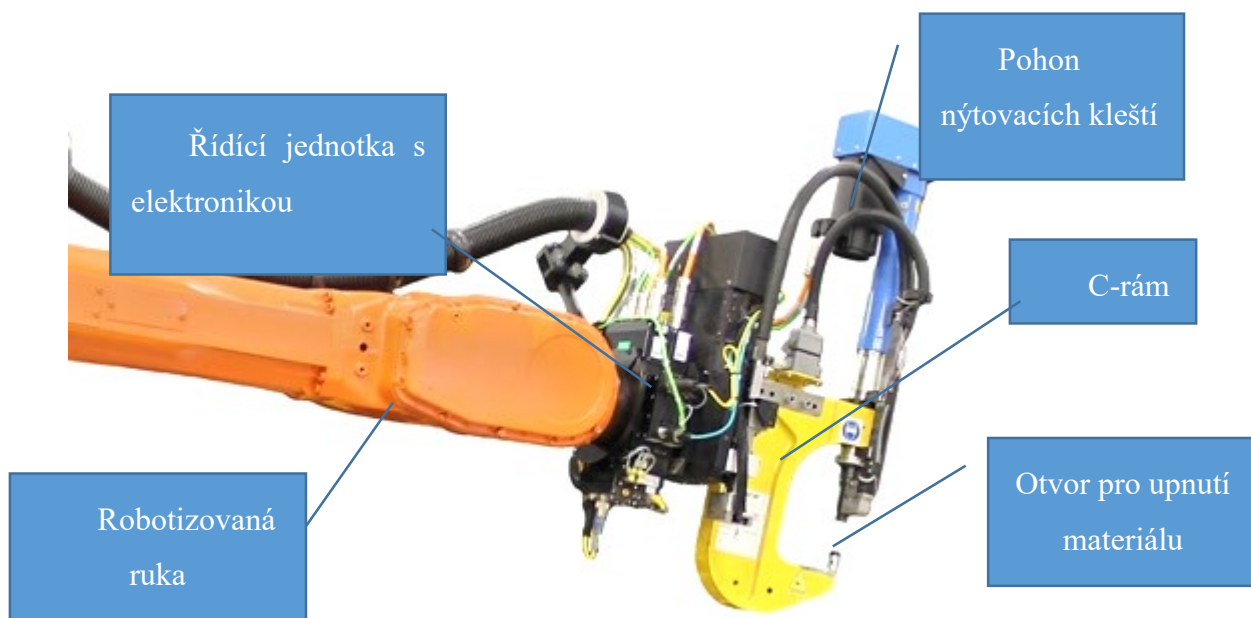
Pokud je vyvinutá síla příliš vysoká, nýt se pravděpodobně dostane příliš daleko do spodní části spojovaného plechu a tloušťka materiálu tak bude příliš malá. Velké odsazení by zničilo horní plát a snížilo by odolnost nýtu proti vytažení. [12]

S narůstajícím využitím materiálů s nízkou tažností a vysokou pevností je vkládána vysoká síla na nýty. Běžně se jedná o sílu o hodnotě 80 kN. Nové systémy self-piercing nýtování se soustředí na vysoké síly pro spojení vysoce pevných materiálů. [12]

#### 1.5.4 C-rám

Protože self-piercing nýtování probíhá za využití vysokých sil, musí být pevnost a tuhost rámečku velmi vysoká. C-rámeček nesmí dosahovat větší podélné deformace než 7 mm a vychýlení větší než  $1^\circ$ . [12]

Mezi další důležité parametry C-rámu patří délka krčku a jeho hmotnost. Délka krčku určuje přístupnost z boku. Hmotnost určí jeho možnost automatizace, pohyblivost robota a cenu robotizace. [12]



Obr. 15 Robotická ruka s C-rámem [16]

### **1.5.5 Materiály vhodné pro spojování self-piercing nýty**

Jednou z hlavních výhod spojování self-piercing nýtem je možnost spojování různých materiálů. Přestože jsou self-piercing nýty především užívány pro spojení hliníkových komponent, mohou také posloužit například pro spojení hořčíkových slitin, mědi, plastů, dřeva a různých kompozitů. [12]

Hliníkové slitiny mohou být tvářené, extrudované i lité. Hliníkové slitiny ke tváření se používají zejména třídy 5xxx (viz. **Obr. 16**) a 6xxx. Oceli spojované touto metodou jsou měkké oceli, oceli s vysokou pevností a pokročilé vysokopevnostní oceli. Mezi spojované materiály také často patří slitiny hořčíku, například slitina AZ31. [12]

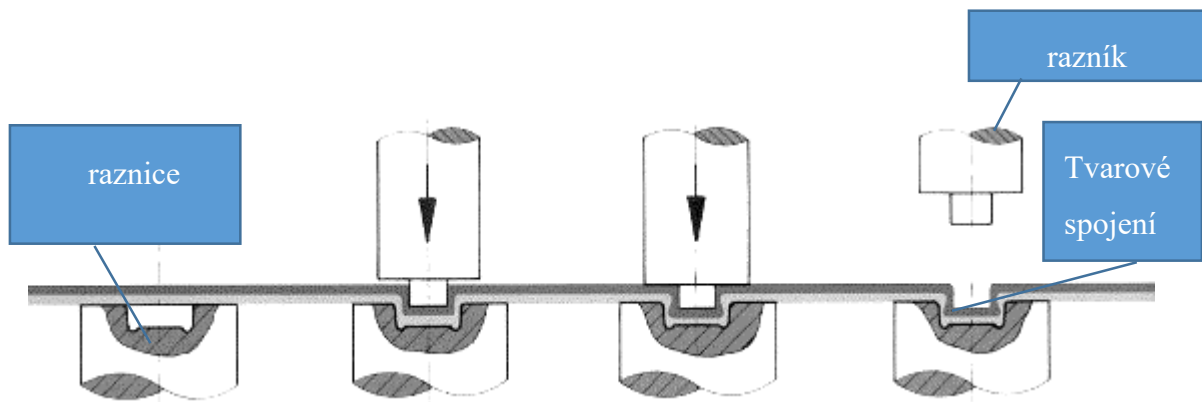


**Obr. 16 Slitina hliníku EN AW 5083 H111 určená pro snýtování metodou self-piercing.**

Hlavním požadavkem na tyto materiály je dostatečná tvárnost, zejména pro spodní pláty spojovaného materiálu, na které tlačí matrice, přičemž dochází k eliminaci trhlin. Tvrdost a pevnost materiálu musí být menší než u nýtu, aby nýt mohl projít skrze materiály a vytvořit správný mechanický zámek. Křehčí materiály mohou být použity jako prostřední nebo horní pláty spoje.[12]

## 1.6 Klinčování

Klinčování je metoda spojování plechů za studena, která je podobná nýtování, od něhož se liší absencí nýtu. Ke spojení dochází pomocí razníku a raznice. Tyto dvě součásti vytlisují pohybem proti sobě nerozebíratelné spojení dvou či více plechů (viz. **Obr. 17**). Spojovaný materiál může být různých tloušťek, přičemž může dosahovat tloušťky až 18mm. [18], [19]



**Obr. 17** Proces klinčování [19]

V automobilovém průmyslu se klinčové spojení využívá na více než 200 typů spojení při spojování různých dílů karoserie (viz **Obr. 18**). Z hlediska úspor hmotnosti je toto spojení velice příznivé. Možnost spojovat různé materiály či kombinace hybridních spojení je také možná.[20]



**Obr. 18** Klinčový spoj u plechového disku. [20]

## **1.7 Lepené nýtované spoje (hybridní spojení)**

U některých materiálů přináší svařování řadu nevýhod. Alternativou svařování je šroubové spojení. Velká nevýhoda šroubů je v jejich vysoké hmotnosti. Lehčí spojení se nabízí v podobě hybridního spojení nýtem a příslušným lepidlem. Tato metoda se využívá v leteckém a také v automobilovém průmyslu. [21]

### **1.7.1 Požadované vlastnosti lepidla**

Lepidla ovlivňují požadované mechanické vlastnosti spoje. Jestliže je vyžadováno zvýšení pevnosti a tuhosti spoje, je použito epoxidového konstrukčního lepidla. [21]

Pakliže musí být spoj nepropustný a pružný, používají se zpravidla silikonová lepidla. V takovém případě pevnost spoje zajišťuje pouze nýt. V těchto případech se používá hlavně self-piercing nýtů popřípadě speciálně upravených dutých nýtů. [21]

### **1.7.2 Výroba spoje**

Výroba hybridního spojení se zpravidla skládá z následujících kroků. Nejprve dojde k nánosu lepidla, poté dojde ke spojení nýtem. Pro spojování nýty s lepidlem mohou být použity tři různé způsoby. [21]

První možností je spojení součástí nýtem a následné nanesení lepidla. K tomuto způsobu je zapotřebí lepidlo s nízkou viskozitou a dostatek času pro zatečení lepidla do požadovaných míst. Tento způsob může být efektivní pouze pro zvýšení pevnosti již existujícího nýtového spojení.

Nejpoužívanějším způsobem je snýtování při nevytvrzeném lepidle. Jedná se o rychlé spojení bez nutnosti přidržování lepených ploch při vytvrzování lepidla. [21]

Poslední postup začíná rovněž nanesením lepidla, které se nechá vytvrdit a až poté následuje snýtování. Jedná se o méně užitečný proces hybridního spojování. Všechny nevýhody jsou podobné jako u jednoduchého šroubového spojení. Jediným důvodem použití tohoto postupu je opravení nebo zlepšení pevnosti šroubového spojení. [21]

## 2. Příprava vzorků pro zkoušky napětí ve smyku s možností aplikace pro bateriový box

Pro zjištění pevnosti ve smyku byly vybrány následující slitiny hliníku: EN AW 5083 H111 a EN AW 2017A T4, tyto vzorky byly snýtovány firmou TOX PRESSOTECHNIK v německé laboratoři metodou self-piercing nýtování. Vzorky pro zkoušku napětí ve smyku byly nařezány pomocí vodního paprsku na CNC stroji. Vzorky byly nařezány na velikost 100x25x3 mm. Pro zkoušku pevnosti hybridního spojení bylo na 20 vzorků nanесeno dvousložkové lepidlo 3M DP460 NS a 20 vzorků zůstalo bez lepidla. Tloušťka vrstvy lepidla činila 0,3 mm a lepidlo bylo nanесeno na plochu 13x25 mm. Cílem bylo zjistit, zda má lepidlo kladný vliv na pevnost spojení či nikoliv. Povrchová úprava lepeného spoje byla provedena odmaštěním povrchu slitiny pomocí roztoku Bonderite.

Jelikož výsledky vzorků nýtovaných self-piercing nýtováním nedošly včas, byl do experimentální části přidán alternativní plán, nahrazující self-piercing nýtování trhacími nýty. Z testování se navíc vyřadila slitina EN AW 2017A T4.

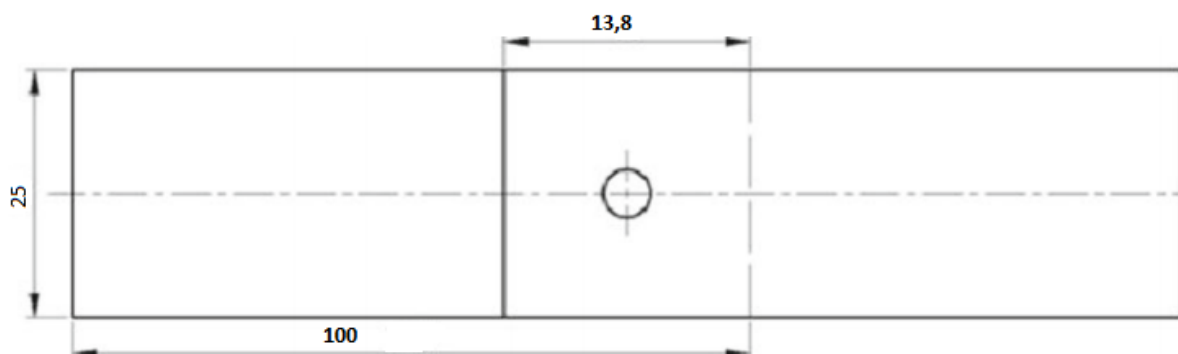
Povrchová úprava vzorků slitiny EN AW 5083 zahrnovala tryskání povrchu v tryskacím boxu a odmaštění lepeného povrchu pomocí Sika Aktivator – 205. Vzorky velikosti 100x25x2 mm byly slepeny lepidlem DP460 NS a následně snýtovány pomocí 4 různých nýtů o průměru 4 mm. První 4 vzorky byly snýtovány hliníkovým trhacím nýtem, další vzorky nýtem ocelovým, poté nýtem z nerezové oceli a poslední sada vzorků byla snýtována trhacím nýtem vícesvěrným z hliníku (viz. **Obr. 19**).



**Obr. 19** Vícesvěrný trhací nýt ze slitiny hliníku a hořčíku.

## 2.1 Matice zkoušení vzorků určených pro zkoušky napětí ve smyku

Experimentální část byla realizována podle následujícího plánu (viz. **Tabulka 1**). Vzorky byly připraveny podle návrhu na **Obr. 20**.



Obr. 20 Návrh vzorku pro lepení a nýtování.

Tabulka 1 - Postup realizace při zkoušení vzorků.

Počet spojů	typů	Typ nýtu	Počet testovaných vzorků	Lepidlo	Průměrná pevnost ve smyku [MPa]
1.		Trhací Al	4	DP 460	13,45
2.		Trhací nerezový	4	DP 460	14,96
3.		Trhací ocelový	4	DP 460	14,01
4.		Trhací vícesvěrný	2	DP 460	14,01
5.		Trhací Al	1	nepoužito	3,27
6.		Trhací nerezový	1	nepoužito	8,47
7.		Trhací ocelový	1	nepoužito	6,02
8.		Trhací vícesvěrný	1	nepoužito	3,54

## **2.2 Hliníková slitina EN AW 5083**

Pro pevnostní zkoušky v experimentální části bakalářské práce byla zvolena hliníková slitina EN AW 5083 (viz. **Tabulka 2**), jelikož vyniká vysokou odolností v extrémních prostředích, mezi něž patří agresivní mořská voda a průmyslové chemikálie. Mimo jiné je tato slitina zvažována pro použití při stavbě bateriového boxu na katedře materiálů a technologií pro automobily Vysoké školy báňské – Technické univerzity. [22]

Modul pružnosti slitiny je 72 GPa při tloušťce plátu 0,2 mm až 6,3 mm. Jeho pevnost v tahu činí 270-350 MPa. Svou vysokou pevnost si zachovává i po svařování. Doporučuje se používat pro prostředí s teplotou do 65°C. Běžně se používá pro stavby automobilových karoserií, stavby lodí, či tlakových nádob. [22]

**Tabulka 2 - Obsah prvků v hmotnostních procentech.[22]**

Prvek	Obsah v hmotnostních %
Mn	0,40-1,00
Fe	0,40 max
Cu	0,10 max
Mg	4,00-4,90
Si	0,00-0,40
Zn	0,00-0,10
Cr	0,05-0,25
Ti	0,05-0,25
Ostatní	0,0-0,15
Al	Zbytek do 100%



### **2.3 Slitina EN AW 2017A T4**

Slitina EN AW 2017A T4 je vysokopevnostní slitina hliníku, mědi a dalších prvků (viz. **Tabulka 3**). Používá se v letectví, pro komponenty s vysokou pevností, také pro vojenská vozidla, výrobu zbraní a mosty. [23]

Slitina byla zvolena pro pevnostní zkoušky v experimentální části bakalářské práce, protože patří mezi možný materiál, který se použije pro bateriový box.

Nejčastěji bývá v následujících modifikacích:

- O – měkká
- T3 – tepelně zpracovaná, tvářená za studena a přirozeně stárnutá
- T4 – tepelně zpracovaná, tvářená za studena a přirozeně stárnutá do stabilního stavu
- T6 – tepelně zpracovaná a uměle stárnutá [23]

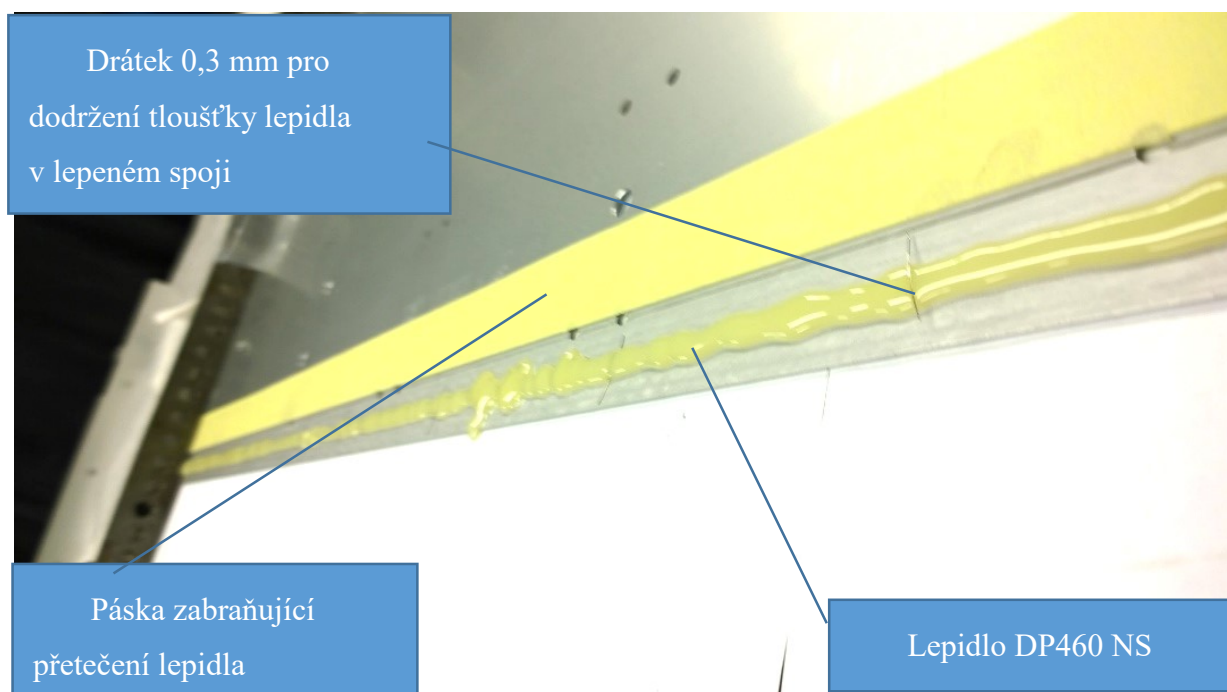
Její hustota je  $2,79 \text{ g/cm}^3$  [23], bod tání  $510^\circ\text{C}$  [23]. Její mechanické vlastnosti jsou shrnuty v následující tabulce.

**Tabulka 3 - Zastoupení prvků v hmotnostních % a vybrané mechanické vlastnosti slitiny 2017A T4.[23]**

Prvek	Hmotnostní zlomek v %	Mechanické vlastnosti	Hodnota
Si	0,20 - 0,80	Pevnost v tahu ( $R_m$ )	379 MPa
Cr	0,00 - 0,10	Mez kluzu ( $R_{p0,2}$ )	221 MPa
Mn	0,40 - 1,0	Prodloužení ( $A_{50}$ )	12 %
Mg	0,40 - 1,0		
Cu	3,50 - 4,50		
Ti	0,00 - 0,25		
Fe	0,00 - 0,70		
Zn	0,00 - 0,25		
Al	Zbytek do 100%		

## 2.4 Lepení hliníkových slitin

Lepení hliníkových slitin (viz. **Obr. 21**) se jeví jako snadný proces spojení v porovnání se svařováním, při kterém dochází ke kroucení hliníkových slitin a k narušení mikrostruktury spoje. Při lepení nedochází k degradaci materiálu v tepelně ovlivněné oblasti svařence. Hliník na vzduchu oxiduje, a proto se na jeho povrchu vytváří oxidická vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Tuto vrstvu musíme před vytvořením spoje odstranit. Je vhodné zvolit některou z povrchových úprav lepeného povrchu. [25]



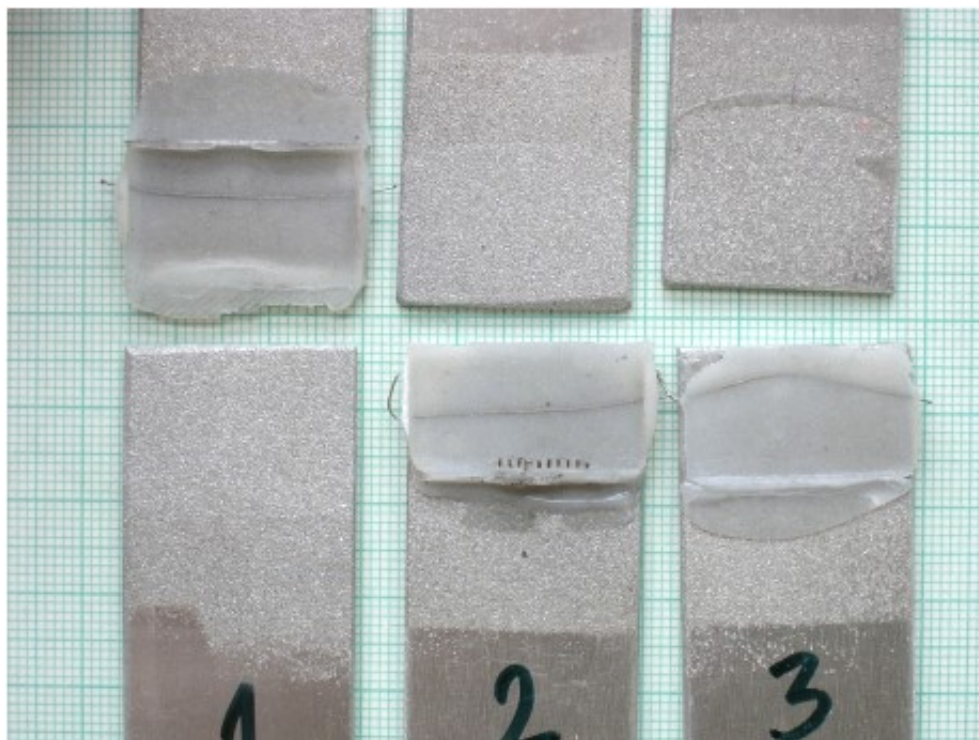
**Obr. 21** Detail naneseného lepidla na slitinu EN AW 5083 H111.

#### **2.4.1 Hodnoty vykazující lepené vzorky při použití stejného typu úpravy povrchu**

Postup přípravy lepeného povrchu se částečně inspiroval postupem, který byl aplikován na vzorky stejné lepené plochy, 13,3x25 mm, v bakalářské práci *Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny* [26]. Jeden z časově nejrychlejších postupů zahrnoval tryskání a odmašťování povrchu. Průměrná hodnota pevnosti ve smyku těchto vzorků je shrnuta v **Tabulka 4**. K přetržení vzorků došlo v důsledku adheze (viz. **Obr. 22**), kdy lepidlo bylo odtrženo vždy od jedné lepené strany. [26]

**Tabulka 4 - Průměrná pevnost ve smyku tryskaných a odmašťovaných vzorků. [26]**

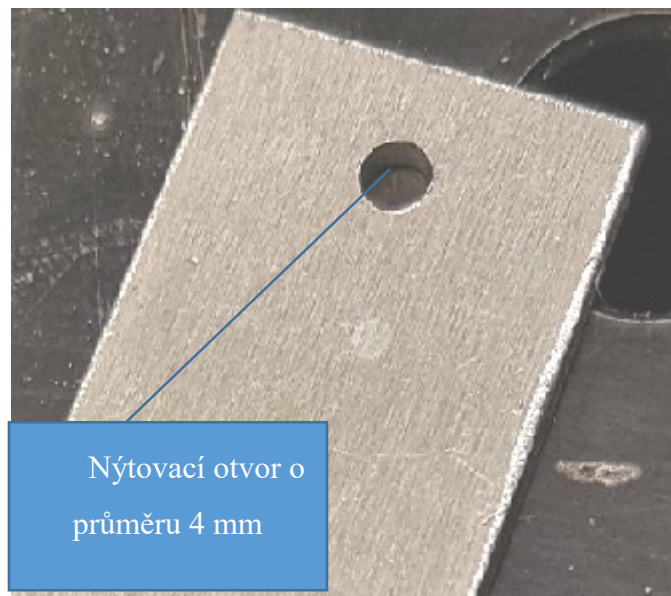
<b>Lepidlo</b>	<b>Průměrná pevnost ve smyku [MPa]</b>	<b>Chyba střední hodnoty</b>
DP-460 NS	7,88	0,69



**Obr. 22 Lepené vzorky s povrchovou úpravou tryskání a odmašťování. [26]**

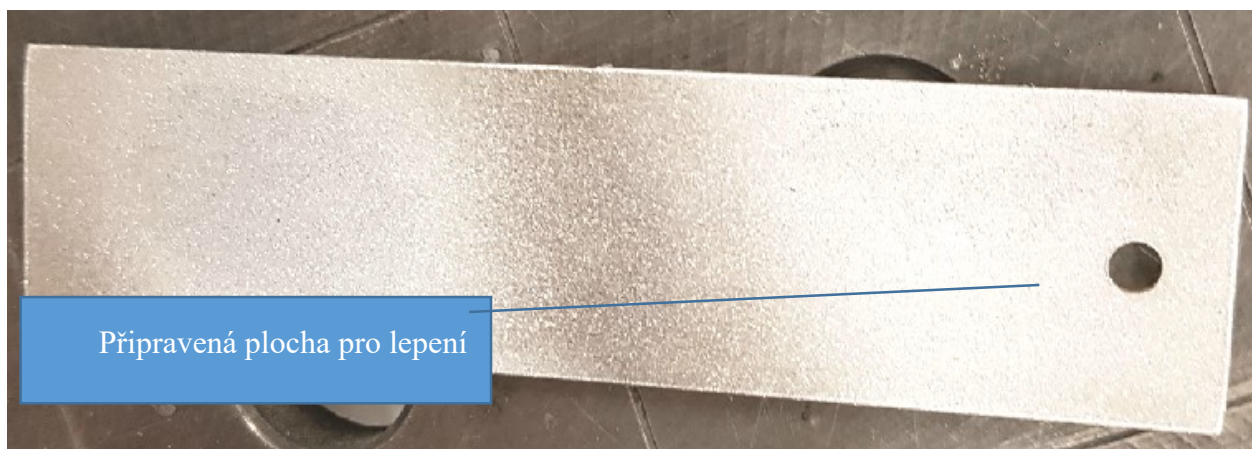
## 2.5 Příprava lepeného povrchu na vzorcích pro snýtování trhacími nýty

Před přípravou povrchu byl vyvrtán do vzorků nýtovací otvor (viz. **Obr. 23**) o průměru 4,0 mm.



**Obr. 23** Vzorek s vyvrtaným nýtovacím otvorem.

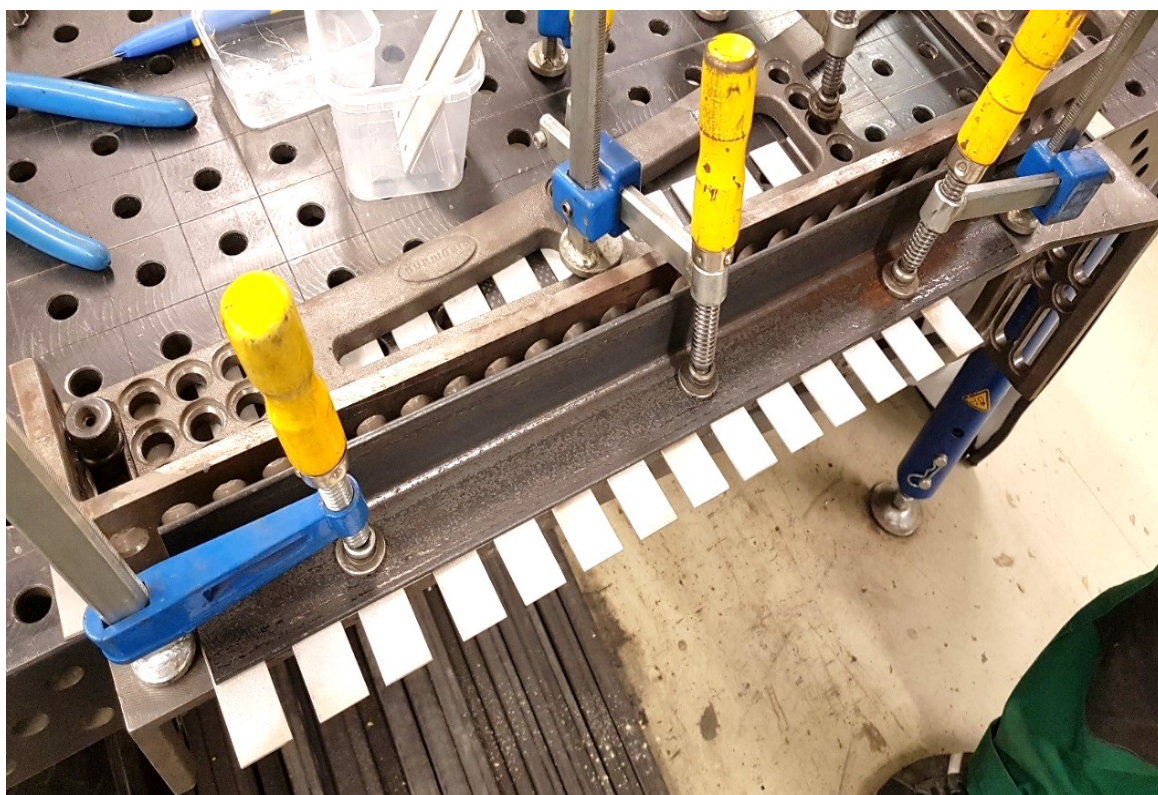
Lepený povrch všech vzorků byl následně otryskán v tryskacím boxu pomocí tryskacího abraziva hnědý korund, F 060 o průměru zrna 0,2-0,8 mm. Po otryskání byly vzorky očištěny lihem a ponechány k oschnutí po dobu 20 minut. Následně byl dle doporučení použit Sika Aktivator – 205, který aktivuje lepené povrchy. Připravený vzorek pro lepení je zobrazen na **Obr. 24**.



**Obr. 24** Vzorek otryskaný, zbavený nečistot a aktivovaný Sika Aktivátorem - 205.

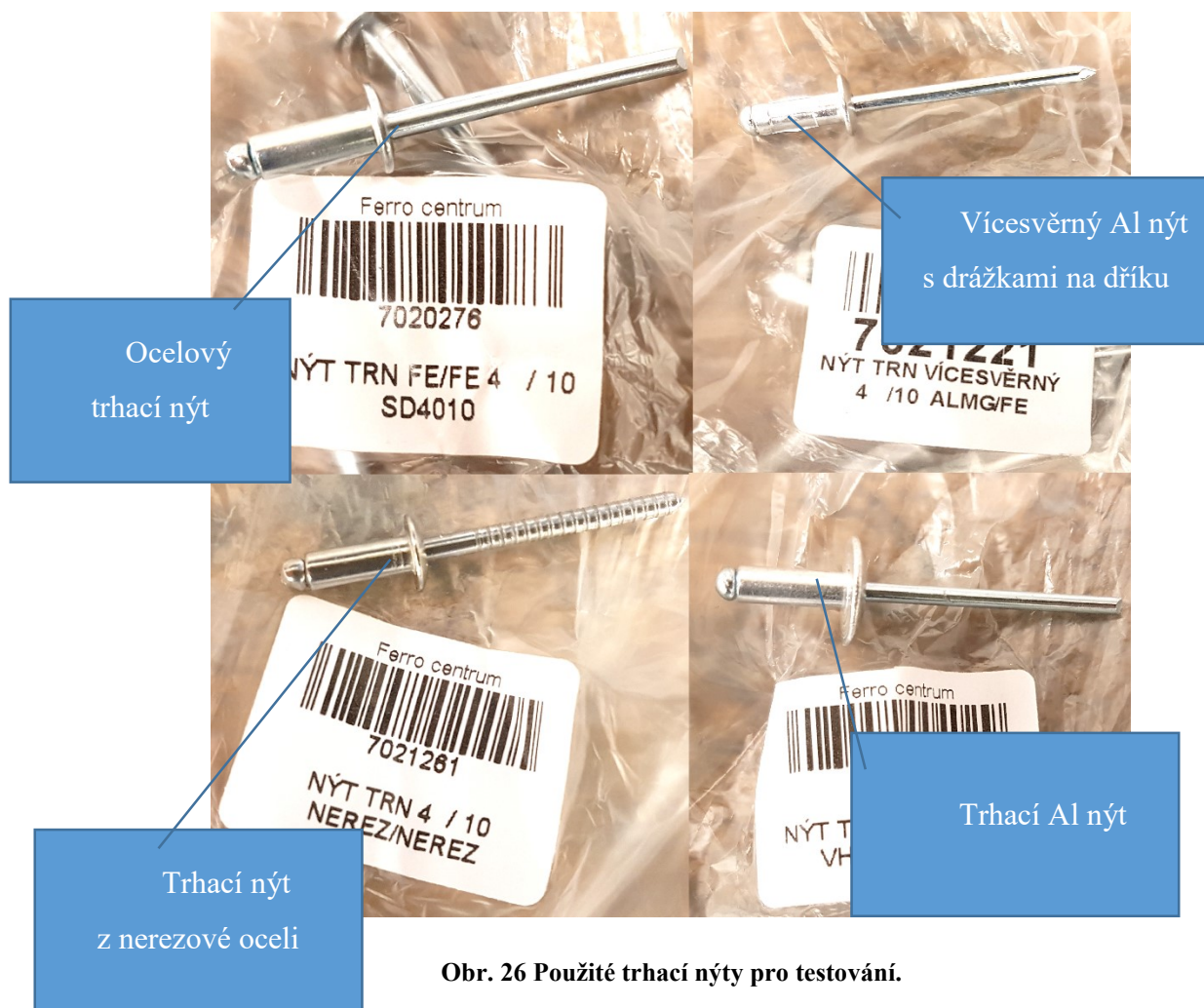


Po 15 minutách bylo na připravené vzorky nanесeno lepidlo DP-460 NS (viz. **Obr. 25**). Lepidlo bylo nanесeno na plochu 13,3x25 mm. Aby plocha lepeného povrchu byla velká 325 mm<sup>2</sup> jako u lepených vzorků, musela být zvětšena o 0,5 mm oproti lepeným vzorkům 13,3x25 mm na katedře materiálů a technologií pro automobily, jelikož plocha vyvrtaného kruhu pro nýt zabírala 12,56 mm<sup>2</sup>. Kompenzovat se také musela plocha drátku o průměru 0,3 mm, který zajišťoval tloušťku lepidla ve spoji. Výsledná délka, na kterou se nanášelo lepidlo, byla 13,8 mm. Stejná lepená plocha umožní částečné porovnání s již realizovanými vzorky.



**Obr. 25** Přípravek se slepenými upnutými vzorky.

Lepidlo se nechalo vytvrdit po určenou dobu 5 dní, a poté bylo snýtováno trhacími nýty. Trhací nýty byly zvoleny z hliníku, oceli, nerezové oceli a pro zkoušku byl zvolen i vícesvěrný hliníkový trhací nýt (viz. **Obr. 26**). Průměr nýtů byl zvolen 4 mm, délka 10 mm. Pro porovnání pevnosti hybridního spoje byly použity i vzorky tryskané, bez lepidla.



**Obr. 26 Použité trhací nýty pro testování.**



## 2.6 Nýtování lepených vzorků

Snýtování vzorků proběhlo pomocí ručních nýtovacích kleští. Před vložením nýtu do nýtovacího otvoru musel být otvor zbaven zbytků přeteklého lepidla, které bránilo vložení nýtu. Poté byly vzorky zanýtovány a vyfoceny (**Obr. 27** a **Obr. 28**). K lepší identifikaci vzorků po provedení pevnostní zkoušky sloužil jejich popisek, který je zahrnut na fotkách.



**Obr. 27** Hotový vzorek slitiny EN AW 5083 H111 určený pro zkoušku pevnosti ve smyku.



**Obr. 28** Připravené vzorky pro zkoušku pevnosti ve smyku.

Po provedení série zkoušek připravených vzorků bylo nutné zjistit hodnoty pevnosti ve smyku u spojů nýtovaných a spojů hybridních (nýtovaných s podporou lepidla DP-460 NS). Pro zjištění smykových pevností byly vzorky podrobeny pevnostní zkoušce na trhačím stroji ZD 10/90 100 kN (viz. **Obr. 29**).

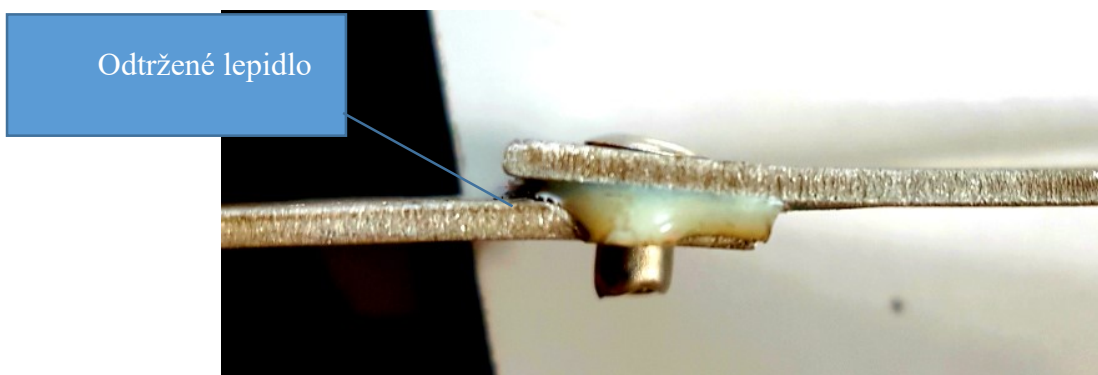


**Obr. 29** Vzorek upnutý v čelistech trhačího stroje.



### 3 Vyhodnocení zkoušek technologie nýtovaných lepených bateriových boxů

Vyhodnocení zkoušek proběhlo v laboratoři fakulty metalurgie a materiálového inženýrství na trhacím stroji. Bylo vypočítáno průměrné napětí ve smyku jednotlivých typů vzorků a zjištěna byla jejich směrodatná odchylka. Smyková zkouška hybridních spojů byla zastavena vždy při dynamickém poklesu napětí. Vzorek po zkoušení je zobrazen na **Obr. 30**.



Obr. 30 Hybridní spoj po smykové zkoušce.

#### 3.1 Výsledky pevností ve smyku lepených nýtovaných spojů

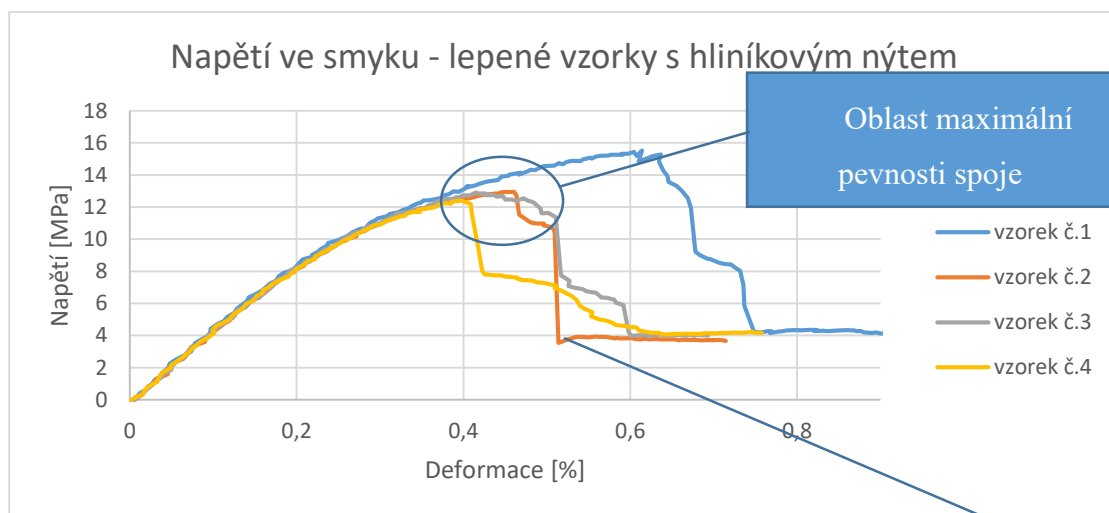
Výsledky byly rozděleny podle jednotlivých typů nýtů. Hodnoty napětí ve smyku se lišily v řádech jednotek MPa (viz. **Tabulka 5**), v závislosti na použitém typu materiálu trhacího nýtu.

Tabulka 5 - Průměrná pevnost ve smyku lepených nýtovaných vzorků.

Typ trhacího nýtu	Průměrné napětí ve smyku [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]
Hliníkový trhací nýt + DP460	13,45	1,40
Nerezový trhací nýt + DP460	14,96	1,55
Ocelový trhací nýt + DP460	14,01	0,89
Vícesvrtný hliníkový nýt + DP460	14,01	0,23

### 3.1.1 Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtemované Al trhačím nýtem

Průběh smykové zkoušky je zaznamenán v následujícím grafu (viz. **Obr. 31**). Průměrná hodnota pevnosti ve smyku činila 13,45 MPa, směrodatná odchylka byla rovna 1,40 MPa. Na **Obr. 31** je patrná podpora pevnosti nýtem, kdy je jeho pokles napětí v určitém bodě zpomalen.

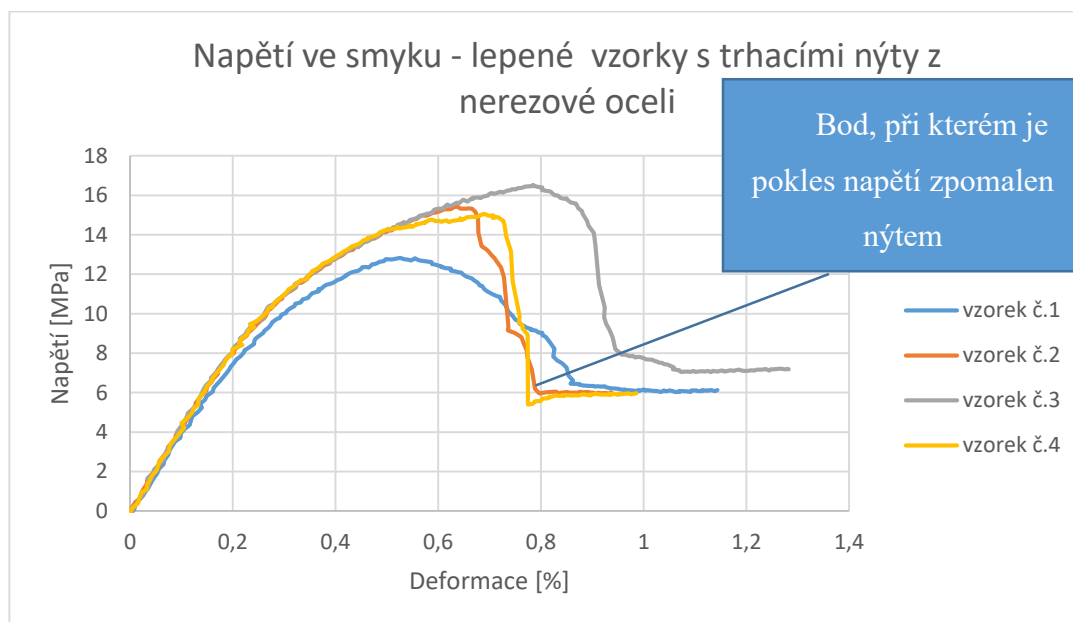


**Obr. 31** Průběh smykové zkoušky trhačích nýtů z hliníku v závislosti napětí na deformaci.

Bod, při kterém je pokles napětí zpomalen nýtem

### 3.1.2 Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtované trhačím nýtem z nerezové oceli

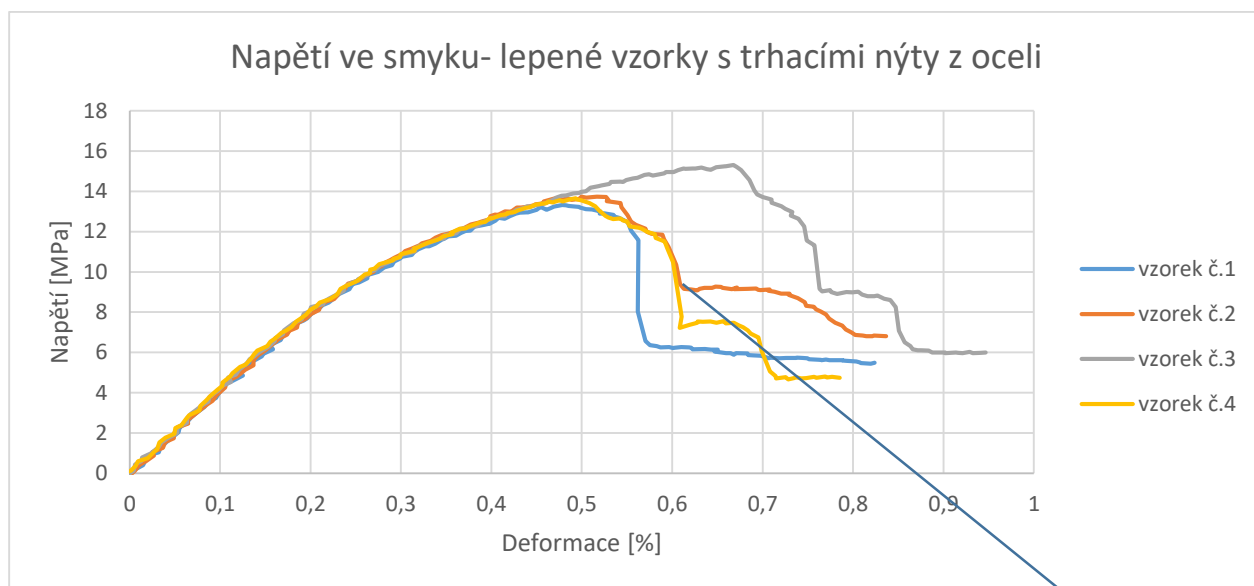
Pevnost ve smyku u trhačích nýtů z nerezové oceli je v porovnání s použitím hliníkových trhačích nýtů větší. Průměrná pevnost všech vzorků ve smyku byla 14,96 MPa, směrodatná odchylka se rovnala 1,55 MPa. Průběh smykových zkoušek je zaznamenán v následujícím grafu (viz. **Obr. 32**).



**Obr. 32** Průběh zkoušky napětí ve smyku u trhačích nýtů z nerezové oceli.

### 3.1.3 Napětí ve smyku - vzorky lepené nýťované ocelovým trhacím nýtem

Pevnost ve smyku u vzorků lepených a nýťovaných ocelovým trhacím nýtem vyšla v průměru 14,01 MPa, směrodatná odchylka byla 0,89 MPa. Průběh zkoušek je znázorněn v následujícím grafu (viz. **Obr. 33**). Jeden ze vzorků dokonce vykazoval pevnost ve smyku 15,31 MPa.

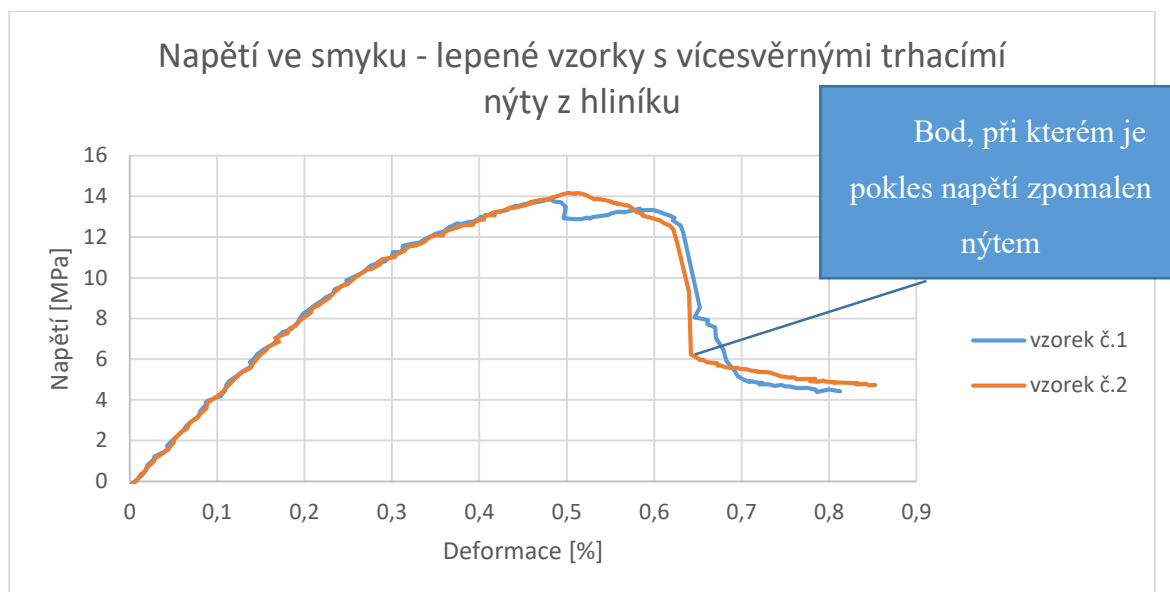


**Obr. 33** Průběh zkoušky napětí ve smyku u trhacích nýtů z oceli.

Bod, při kterém je  
pokles napětí zpomalen  
nýtem

### 3.1.4 Napětí ve smyku - vzorky lepené nýtované vícesvěrným Al trhacím nýtem

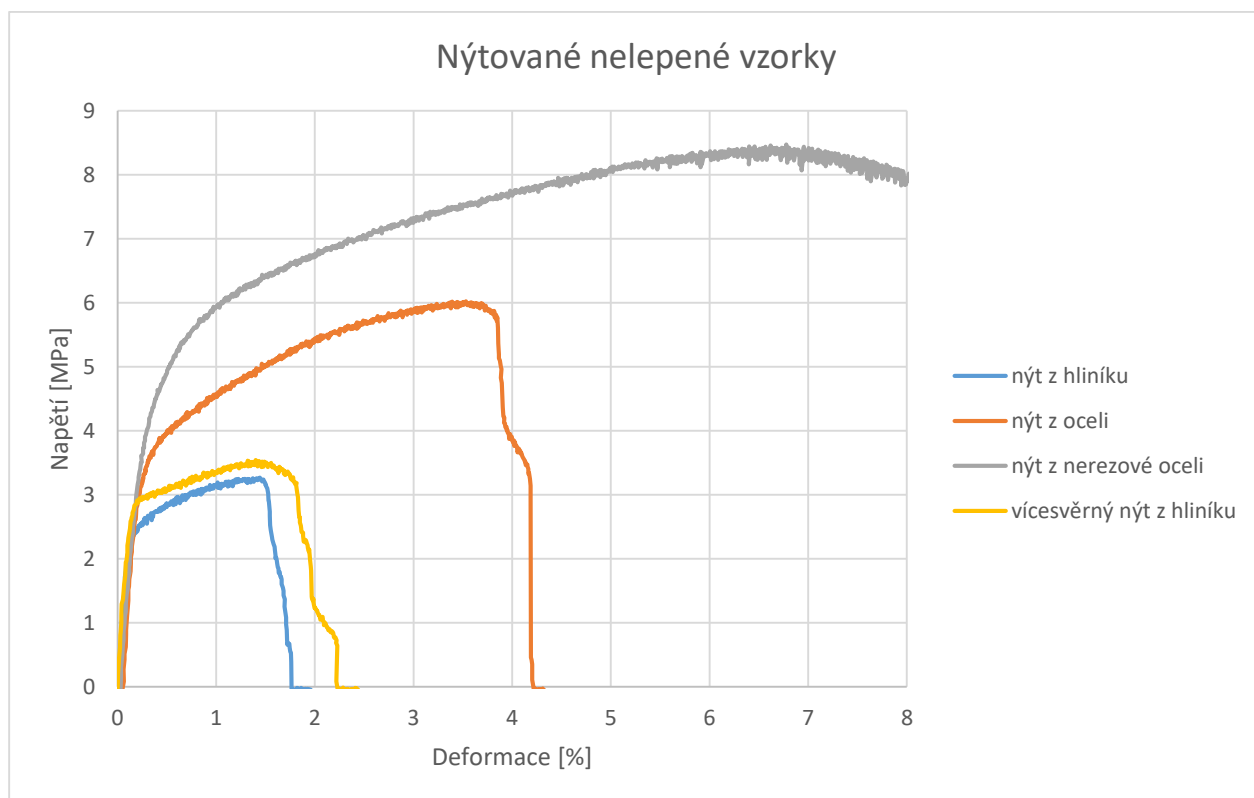
Průměrná hodnota pevnosti ve smyku vzorků byla 14,01 MPa, směrodatná odchylka vyšla 0,23 MPa. Průběh zkoušky pevnosti smyku je znázorněn v následujícím grafu (viz. **Obr. 34**). Vícesvěrné Al nýty se neprojevily nijak signifikantně v pevnosti ve smyku v porovnání s Al nýty.



**Obr. 34** Průběh zkoušky pevnosti ve smyku vícesvěrných trhacích nýtů z hliníku.

### 3.2 Výsledky pevnosti ve smyku u nelepených vzorků

Hodnoty pevnosti ve smyku u vzorků nelepených nýtovaných trhačímí nýty byly podstatně nižší než u spojení hybridního. Nejvyšší pevnosti dosahoval nýt z nerezové oceli, jeho hodnota pevnosti ve smyku dosahovala 8,47 MPa, naopak nejmenší pevnosti ve smyku 3,27 MPa vykazoval trhačí nýt z hliníku (viz. **Obr. 35**).



**Obr. 35** Průběh smykové zkoušky snýtovaných vzorků bez lepidla.

Následující **Tabulka 6** shrnuje pevnost ve smyku nelepených vzorků. Na **Obr. 36** je vidět utržený Al nýt po zkoušení.

**Tabulka 6 - Pevnost ve smyku nelepených vzorků.**

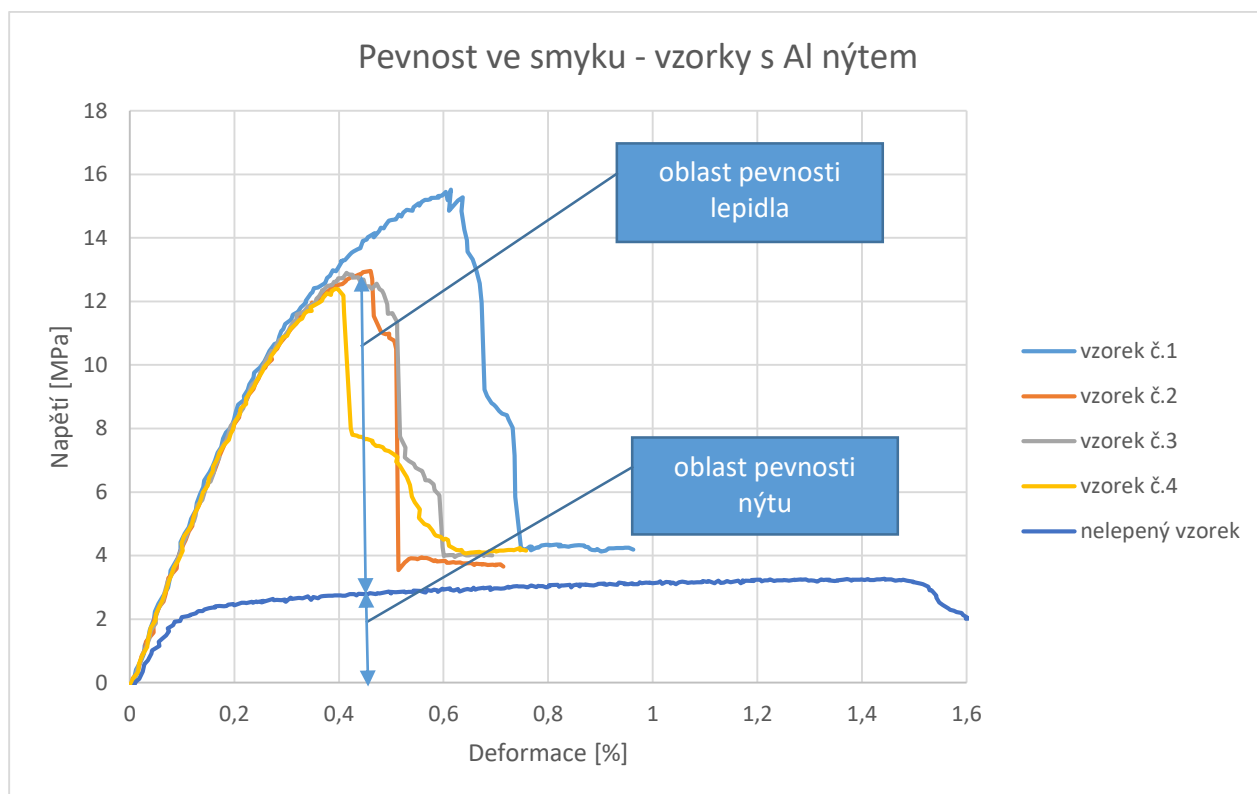
Typ trhacího nýtu	Pevnost ve smyku [MPa]
Hliníkový nýt	3,27
Nýt z nerezové oceli	8,47
Ocelový nýt	6,02
Vícesvrhový hliníkový nýt	3,54



**Obr. 36 Nelepený vzorek s přetrženým hliníkovým nýtem.**

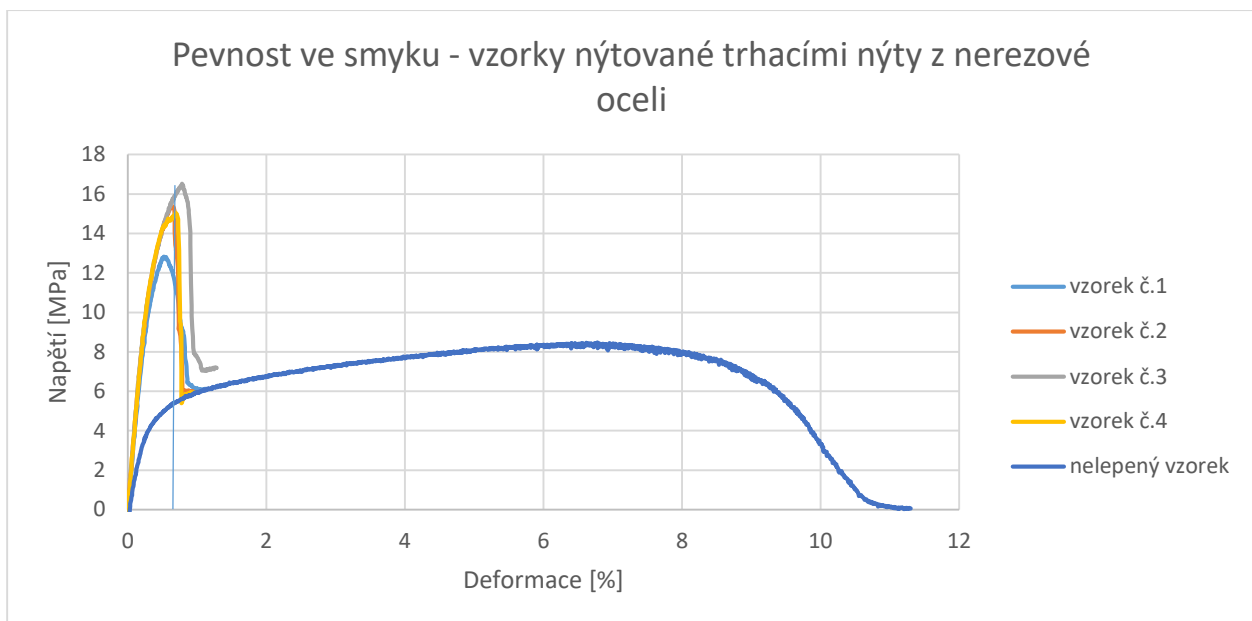
### 3.3 Porovnání pevnosti ve smyku - vzorky nelepené a s aplikací lepidla

Při nahlédnutí do grafů (viz. Obr. 37, Obr. 38, Obr. 39 a Obr. 40), porovnávajících vzorek bez lepidla se vzorky s lepidlem, je vidět značný rozdíl v pevnosti ve smyku. Lepidlo DP-460 NS dodává markantní pevnost. Z grafů je vidět přibližná oblast, kdy dojde k odtržení lepidla. Následná pevnost spoje je dána deformací nýtu.

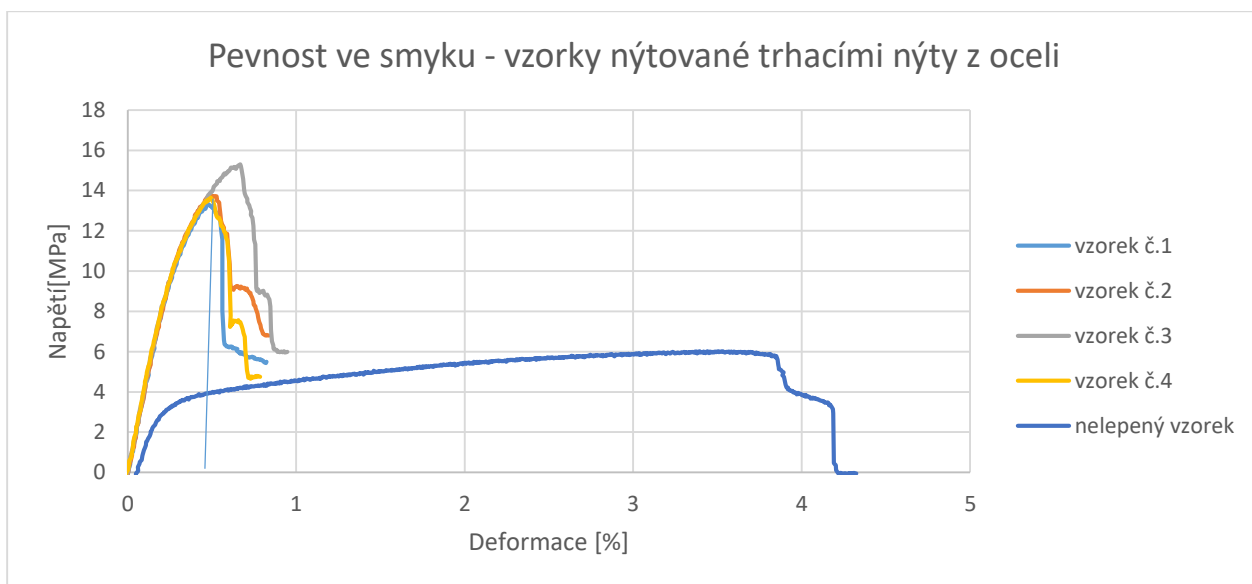


Obr. 37 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla – Al nýt.

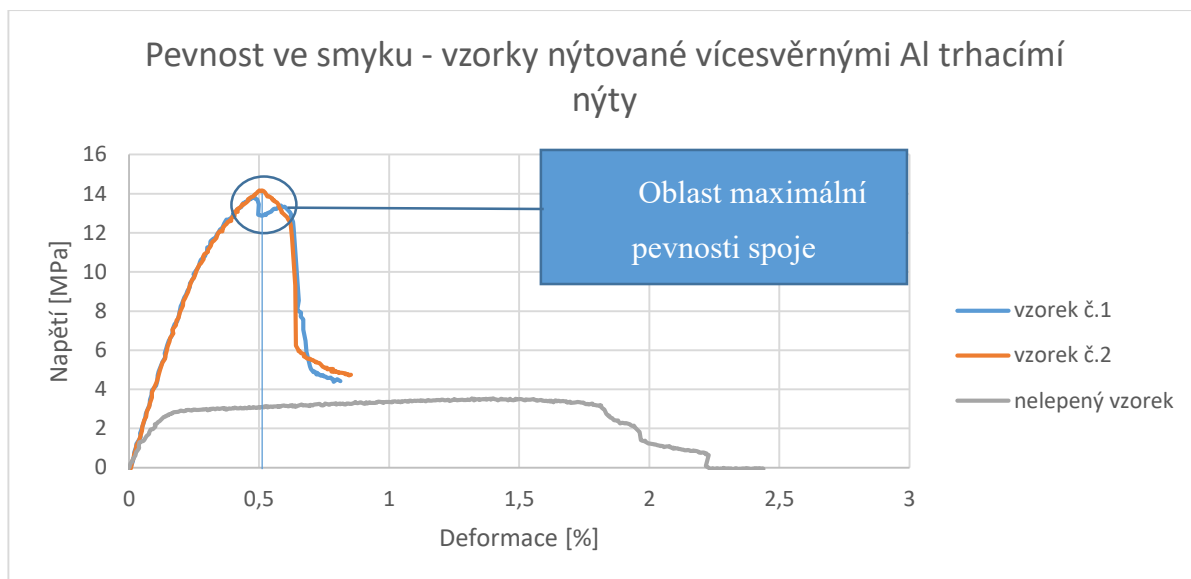




**Obr. 38 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla – nerezový nýt.**



**Obr. 39 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla – ocelový nýt.**



**Obr. 40 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla - vícesvěrný Al nýt.**

Al nýt přidával na pevnosti ve smyku nejmenší hodnoty. Nejlépe vycházely hodnoty trhacího nýtu z nerezové oceli. Nerezový nýt zdeformoval nýťovací otvor. Jeho pevnost byla vyšší než pevnost slitiny EN AW 5083.

### 3.4 Vyhodnocení lepeného povrchu

Po zkoušce pevnosti ve smyku byly na vzorcích odvrtány nýty kvůli zjištění lomu lepeného spoje. Z deformací lepených spojů lze pozorovat úplný odtrh lepidla od povrchu na jedné straně vzorku (viz. **Obr. 41**). Znamená to, že pevnost lepidla byla vyšší než soudržnost lepidla k lepenému povrchu, lom tohoto typu spojení byl tedy adhezní. Bylo by tedy vhodné se zaměřit na lepší úpravu povrchu před lepením. Pro další testování vzorků by bylo vhodné se zaměřit například na eloxovaný povrch, který by měl zaručit lepší soudržnost lepidla a lepeného povrchu vzorku.



**Obr. 41 - Odvrtané vzorky s detailem na lepenou plochu.**

## 4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vliv lepidla na pevnost ve smyku u lepeného nýtového spoje. Nejdříve bylo realizováno zkoušení pevnosti ve smyku hybridního spojení metodou self-piercing nýtování a dvousložkového lepidla 3M DP-460 NS. Bohužel vzorky nebyly z laboratoře v Německu dodány včas.

Kvůli včasnému nedodání výsledků zkoušek pevnosti ve smyku snýtovaných vzorků metodou self-piercing nýtování z Německa byla vytvořena alternativa, a to snýtování lepených vzorků materiálu EN AW 5083 H111 o velikosti 100x25x2 mm pomocí trhacích nýtů 4 různých typů materiálů o průměru dříku 4 mm a délce 10 mm. Lepidlo 3M DP-460 NS bylo nanášeno na plochu 13,3x25 mm s tloušťkou vrstvy lepidla 0,3 mm. Před nanášením lepidla byl lepený povrch otryskán na lepené ploše a těsně před aplikací lepidla očištěn přípravkem Sika Aktivator – 205.

Výsledky pevnosti ve smyku byly zjištěny na trhacím stroji a jednotlivé typy nýtů porovnány navzájem mezi sebou, pro relevantnost výsledků byly zkoušky provedeny pro každý typ spoje alespoň čtyřikrát, a poté se z výsledků vytvořil průměr. Nejlepší pevnost vykazoval spoj lepený, nýtovaný trhacím nýtem z nerezové oceli. Nejvyšší průměrná hodnota pevnosti ve smyku dosáhla 14,96 MPa. Naopak nejmenší průměrná pevnost ve smyku byla 13,45 MPa. Naměřena byla u vzorků lepených a nýtovaných trhacími hliníkovými nýty. Lom lepených nýtovaných vzorků byl adhezní, soudržnost lepidla byla větší než soudržnost lepidla k tryskanému odmaštěnému povrchu slitiny EN AW 5083 H111.

V porovnání pevnosti ve smyku se vzorky pouze lepenými byl nárůst pevnosti patrný, navíc vzorek se při zkoušení neměl tendenci ve spoji díky nýtu ohýbat, podobně jako to bylo u vzorků lepených.

Použitím lepší povrchové úpravy lepeného povrchu u zkoušených vzorků by bylo možné docílit ještě vyšších hodnot pevnosti, například se nabízí možnost eloxace a ošetření povrchu Sika Aktivator – 205.

Z výsledků zkoušek ve smyku je jasně patrný kladný vliv nýtu na pevnost spojů. Tato skutečnost může být výhodou při implementaci hybridních spojů v tvorbě nového bateriového boxu, například na katedře materiálů a technologií pro automobily.

## Seznam použité literatury

- [1] GUSTAVSON, John. What percentage of the Tesla Model S weight belongs to its battery? What about in terms of volume?. *Quora.com* [online]. 2017 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-percentage-of-the-Tesla-Model-S-weight-belongs-to-its-battery-What-about-in-terms-of-volume>
- [2] Semi-hollow self-piercing rivets. In: *Invetr.com* [online]. invetr, 2016 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.invetr.com/body-and-structure/semi-hollow-self-piercing-rivets>
- [3] BMW i3 Battery Production. In: *Youtube* [online]. 23. 9. 2013 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iiJsKza5CF4>
- [4] MOLOUGHNEY, Tom. The 2017 BMW i3: 94 Ah Cells and a 125 Mile EPA Range Rating?. In: *bmwblog.com* [online]. 27. 11. 2015 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/2015/11/27/the-2017-bmw-i3-94-ah-cells-and-a-125-mile-epa-range-rating/>
- [5] DANĚK, Otakar a Nikolaj Markovič GORBATOV. *Nýtování v letectví a v podobné výrobě: Příručka pro praxi a pro odborné školení*. Praha: Práce, 1951.
- [6] 1/8" Body Diam, Round, Steel Solid Rivet. In: *Mscdirect.com* [online]. MSC Industrial Direct [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.mscdirect.com/product/details/67618769>
- [7] 3/16" Body Diam, Round, Copper Solid Rivet. In: *Mscdirect.com* [online]. MSC Industrial Direct [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.mscdirect.com/product/details/67136366>
- [8] DTRSR2672B - Nýt, Trhací, Nylon 6. In: *Cz.farnell.com* [online]. Leeds: A Premier Farnell Company, 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://cz.farnell.com/duratool/dtrsr2672b/snap-rivet-nylon-6-2-6mm-7-2mm/dp/2342239?mckv=4mGhINyo\\_dc|pcrid|206596053962|&gross\\_price=true&CATC I=pla-61859544613&CAAGID=45820190842&CMP=KNC-GCZ-GEN-SHOPPING-Duratool&CAGSPN=pla&gclid=CjwKCAjwwbHWBRBWEiwAMIV7E5r2VqW\\_-WWkOhkOl4o9M96tjVaN5ln8AVrBMjjmpN0z-HOUYjWH9RoCV04QAvD\\_BwE&CAWELAIID=120185800000449383](http://cz.farnell.com/duratool/dtrsr2672b/snap-rivet-nylon-6-2-6mm-7-2mm/dp/2342239?mckv=4mGhINyo_dc|pcrid|206596053962|&gross_price=true&CATC I=pla-61859544613&CAAGID=45820190842&CMP=KNC-GCZ-GEN-SHOPPING-Duratool&CAGSPN=pla&gclid=CjwKCAjwwbHWBRBWEiwAMIV7E5r2VqW_-WWkOhkOl4o9M96tjVaN5ln8AVrBMjjmpN0z-HOUYjWH9RoCV04QAvD_BwE&CAWELAIID=120185800000449383)
- [9] SEMI-TUBULAR RIVET (Low Round Semi-Tubular Rivet) | Fastening Movie. In: *Youtube.com* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=I40ISVkf08s>
- [10] *TIFAS® LockBolt* [online]. Písek: Rivetec, 2017 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.rivetec.cz/spojovaci-material/2-d%C3%ADlne-nyty-lockbolty-a-rychlospojovaci-prvky>
- [11] Henrob Hand Held Battery Rivet Tool. In: *Youtube.com* [online]. 18004HENROB, 2010 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=GiB9ff-TSQI>
- [12] LI, Dezhi, Andreas CHYSANTHOU, Imran PATEL a Geraint WILLIAMS. Self-piercing riveting - a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017, **92**(5-8), 1777-1824.

- [13] CHRYSANTHOU, A., HAN, CHEN a SULLIVAN. Schematic representation of the self-piercing riveting process. In: *Researchgate.net* [online]. 2002 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-self-piercing-riveting-process\\_fig1\\_285763665](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-self-piercing-riveting-process_fig1_285763665)
- [14] Self piercing rivets. In: *Prolinesystems.net* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://prolinesystems.net/self-piercing-rivets-.html>
- [15] Typical dies for SPR and a cross-section. In: *Researchgate.net* [online]. 2016 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Typical-dies-for-SPR-and-a-cross-section\\_fig3\\_303944012](https://www.researchgate.net/figure/Typical-dies-for-SPR-and-a-cross-section_fig3_303944012)
- [16] Self-Piercing Riveting Machine. *WuHan BRK Machinery* [online]. Wuhan: WuHan BRK Machinery, 2016 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.china-riveting.com/en/uploads/allimg/160605/1-160605133938.jpg>
- [17] Automotive Lightweighting Driving Demand for Self-Pierce Riveting and Aluminum Stud Welding. *Stanley Black&Decker* [online]. New Briatin: Stanley Black&Decker, 2015 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://media.emhart.eu/wAssets/Images/products-services/mechjoining/Alu-Alu.jpg>
- [18] JIANG, Teng a Zhong-Xia LIU. Quality inspection of clinched joints of steel and aluminum. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015, **76**(5-8), 1393-1402.
- [19] VARIS, Juha. Ensuring the integrity in clinching process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006, **174**(1-3), 277-285.
- [20] KVAPIL, Ladislav. *Materiálově a energeticky nenáročné spojování* [online]. 2015 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/materialove-a-energeticky-nenarocne-spojovani.html>
- [21] MORONI, Fabrizio a Alessandro PIRONDI. Technology of Rivet: Adhesive Joints. *Hybrid Adhesive Joints*. Berlin: Heidelberg, 2010, 79-108.
- [22] Aluminium Alloy - Commercial Alloy - 5083 - '0' - H111 Sheet and Plate. *Aalco* [online]. Cobham: Aalco Metals, 2018 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: [http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-5083-0-H111-Sheet-and-Plate\\_149.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-5083-0-H111-Sheet-and-Plate_149.ashx)
- [23] EN AW / AlCu4MgSi / 2017 / 2017A / T4 / T451. *Referans Metal* [online]. Istanbul: Referans Metal, 2015 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://referansmetal.com/alasimli-aluminyum/product/335/en-aw-alcu4mg-si-2017-2017a-t4-t451?lang=en>
- [24] Aluminium Alloy 2017A. *Aircraft Materials* [online]. Stokenchurch: AircraftMaterialsUK.com, 2013 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://www.aircraftmaterials.com/data/aluminium/2017a.html>
- [25] KLUSÁČEK, Lukáš. *Lepení kovů*. Zlín, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [26] ČERMÁKOVÁ, Adriana. *Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119487>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

## Seznam Obrázků

Obr. 1 Karoserie vozu Audi TT (modelové označení 8J3, rok výroby 08/06 – 06/14) spojená pomocí self-piercing nýtů. [2]

Obr. 2 Místo pro uložení bateriových článků vozu BMW i3. [3]

Obr. 3 Zkompletovaný bateriový box pro BMW i3. [4]

Obr. 4 Detail lepené příčky bateriového boxu u prototypu SCX.

Obr. 5 Nýtové spojení dvou materiálů. [5]

Obr. 6 Ocelový nýt. [6]

Obr. 7 Nýt z mědi. [7]

Obr. 8 Trhací nýt z nylonu.[8]

Obr. 9 Nýt s vyvrtaným koncem dříku. [9]

Obr. 10 Nýt Lockbolt. [10]

Obr. 11 Spojení pomocí self-piercing nýtů. [11]

Obr. 12 Vznik spoje self-piercing nýtováním.0

Obr. 13 Self-piercing nýty. [14]

Obr. 14 Matrice pro self-piercing nýtování. [15]

Obr. 15 Robotická ruka s C-rámem [16]

Obr. 16 Slitina hliníku EN AW 5083 H111 určená pro snýtování metodou self-piercing.

Obr. 17 Proces klinčování [19]

Obr. 18 Klinčový spoj u plechového disku. [20]

Obr. 19 Vícesměrný trhací nýt ze slitiny hliníku a hořčíku.

Obr. 20 Návrh vzorku pro lepení a nýtování.

Obr. 21 Detail naneseného lepidla na slitinu EN AW 5083 H111.

Obr. 22 Lepené vzorky s povrchovou úpravou tryskání a odmašťování. [26]

- Obr. 23 Vzorek s vyvrtaným nýtovacím otvorem.**
- Obr. 24 Vzorek otryskaný, zbavený nečistot a aktivovaný Sika Aktivátorem - 205.**
- Obr. 25 Přípravek se slepenými upnutými vzorky.**
- Obr. 26 Použité trhací nýty pro testování.**
- Obr. 27 Hotový vzorek slitiny EN AW 5083 H111 určený pro zkoušku pevnosti ve smyku.**
- Obr. 28 Připravené vzorky pro zkoušku pevnosti ve smyku.**
- Obr. 29 Vzorek upnutý v čelistech trhacího stroje.**
- Obr. 30 Hybridní spoj po smykové zkoušce.**
- Obr. 31 Průběh smykové zkoušky trhacích nýtů z hliníku v závislosti napětí na deformaci.**
- Obr. 32 Průběh zkoušky napětí ve smyku u trhacích nýtů z nerezové oceli.**
- Obr. 33 Průběh zkoušky napětí ve smyku u trhacích nýtů z oceli.**
- Obr. 34 Průběh zkoušky pevnosti ve smyku vícesměrných trhacích nýtů z hliníku.**
- Obr. 35 Průběh smykové zkoušky snýtovaných vzorků bez lepidla.**
- Obr. 36 Nelepený vzorek s přetrženým hliníkovým nýtem.**
- Obr. 37 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla – Al nýt.**
- Obr. 38 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla – nerezový nýt.**
- Obr. 39 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla – ocelový nýt.**
- Obr. 40 Porovnání průběhu zkoušky ve smyku u vzorků s lepidlem a bez lepidla - vícesměrný Al nýt.**
- Obr. 41 - Odvrtané vzorky s detailem na lepenou plochu.**



## **Seznam tabulek**

**Tabulka 1 - Postup realizace při zkoušení vzorků.**

**Tabulka 2 - Obsah prvků v hmotnostních procentech.[22]**

**Tabulka 3 - Zastoupení prvků v hmotnostních % a vybrané mechanické vlastnosti slitiny 2017A T4.[23]**

**Tabulka 4 - Průměrná pevnost ve smyku tryskaných a odmašťovaných vzorků. [26]**

**Tabulka 5 - Průměrná pevnost ve smyku lepených nýtovaných vzorků.**

**Tabulka 6 - Pevnost ve smyku nelepených vzorků.**